



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

**ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ
ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ ΚΑΙ ΘΕΣΗΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

ΚΑΡΑΚΕΚΕ ΙΩΑΝΝΗ

Βόλος, 06 Οκτωβρίου 2011



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ

Περιγραφή Λογισμικού για τον Υπολογισμό Επιτάχυνσης και Θέσης του
Ατόμου

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Του

ΚΑΡΑΚΕΚΕ ΙΩΑΝΝΗ

Επιβλέποντες :

ΚΥΡΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ

ΔΕΥΤΕΡΕΥΩΝ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. Παναγιώτα Τσομπανοπούλου

Δρ. Παναγιώτης Μποζάνης

Επίκουρος καθηγήτρια του

Αναπληρωτής καθηγητής του

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Εγκρίθηκε από την διμελή εξεταστική επιτροπή την 06/10/2011

ΚΥΡΙΑ ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ

ΔΕΥΤΕΡΟΥΩΝ ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Δρ. Παναγιώτα Τσομπανοπούλου

Δρ. Παναγιώτης Μποζάνης

Επίκουρος καθηγήτρια του

Αναπληρωτής καθηγητής του

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

Πανεπιστημίου Θεσσαλίας

.....
Καρακεκές Ιωάννης

Διπλωματούχος Μηχανικός Ηλεκτρονικών Υπολογιστών, Τηλεπικοινωνιών και Δικτύων
Πανεπιστημίου Θεσσαλίας
© 2011 – All rights reserved

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή.....	8
Κεφάλαιο 2 - Περιγραφή C3D αρχείων	9
2.1 Επικεφαλίδα.....	10
2.2 Τομέας Παραμέτρων	11
2.3 Τομέας 3D Πληροφοριών.....	11
Κεφάλαιο 3 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ.....	12
3.1 Περιγραφή Μεθόδων	12
3.2 ΥΛΟΠΟΙΣΗ ΣΤΟ MATLAB:.....	13
Κεφάλαιο 4 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ TXT ΑΡΧΕΙΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ	16
Κεφάλαιο 5 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ	17
5.1 Περιγραφή Μεθόδων	17
5.2 Σύντομη μαθηματική περιγραφή των παραπάνω μεθόδων:	17
5.3 ΥΛΟΠΟΙΣΗ ΣΤΟ MATLAB:.....	19
Κεφάλαιο 6 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ APA (ACCELERATION & POSITION ANALYSIS)	22
6.1 Εισαγωγή στο APA –Άνοιγμα C3D αρχείων	22
6.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων.....	22
6.3 Υπολογισμός της Επιτάχυνσης.....	25
6.4 Υπολογισμός Στιγμιαίας Επιτάχυνσης	29
6.5 Δημιουργία Γραφικών Παραστάσεων	30
6.6 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων	32
6.7 Επεξεργασία των Αποθηκευμένων Δεδομένων.....	34
6.8 Άνοιγμα .txt αρχείων	37
6.9 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων.....	38
6.10 Υπολογισμός Θέσης	39
6.11 Δημιουργία Γραφικών Παραστάσεων	41
6.12 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων	43
6.13 Επεξεργασία των Αποθηκευμένων Δεδομένων της Βάσης.....	45
6.14 Δημιουργία και Χρήση Συνάρτησης από τον χρήστη	46
6.15 Επιλογή Βοήθειας.....	50
Κεφάλαιο 7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ	51
7.1 Γενική Ανακεφαλαίωση	51
7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ.....	51
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52

Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγή

Πολλά εργαστήρια ανάλυσης κίνησης χρησιμοποιούν διάφορες μεθόδους και τεχνολογίες με τις οποίες υπολογίζουν και μελετάνε την ανθρώπινη κίνηση. Κάποιες από τις τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για το σκοπό αυτό είναι τα ηλεκτρονικά ρούχα, οι ειδικές ψηφιακές κάμερες υψηλής ευκρίνειας, force plates για τον υπολογισμό των διάφορων συνιστωσών των δυνάμεων και οι συσκευές ηλεκτρομυογραφήματος [2].



Εικόνα 1-1 Στατικό πείραμα σε biomechanics εργαστήριο κίνησης



Εικόνα 1-2 Ειδική κάμερα για την μελέτη

Τα αποτελέσματα από τη μελέτη της ανθρώπινης κίνησης αξιοποιούνται σε διάφορους επιστημονικούς τομείς. Μερικά παραδείγματα είναι η βελτίωση των αθλητικών ικανοτήτων, ο τομέας της ρομποτικής, η παραγωγή τεχνητών μελών του ανθρώπινου σώματος, ο εντοπισμός θέσης του ατόμου και πολλά άλλα.



Εικόνα 1-3 Πείραμα για βελτίωση των ικανοτήτων στο άθλημα golf

Κεφάλαιο 2 - Περιγραφή C3D αρχείων

Τα εργαστήρια ανάλυσης της κίνησης δημιουργούν αρχεία που περιέχουν όλες τις πληροφορίες που εξάγονται κατά την διάρκεια των πειραμάτων. Αυτά τα αρχεία ονομάζονται C3D [1]. Επίσης υπάρχουν και αρχεία που περιέχουν δεδομένα επιτάχυνσης. Αυτά τα αρχεία μπορεί να είναι τύπου “.txt”, “.txt.matlab” και “.csv”. Με αυτά τα αρχεία και με δεδομένο την επιτάχυνση μπορούμε να υπολογίσουμε την θέση του ατόμου. Τα C3D αρχεία μπορούν να διαβαστούν και να τροποποιηθούν από διάφορα είδη λογισμικού. Η γνωστότερη εταιρεία που παράγει τέτοιου είδους λογισμικό είναι η VICON. Όμως εξαγωγή των δεδομένων που περιέχουν αυτά τα αρχεία μπορεί να γίνει και μέσω του MATLAB, με χρήση του C3DSERVER [7]. Η δομή ενός C3D αρχείου είναι η εξής:

Οι τιμές των δεδομένων στα C3D αρχεία αποθηκεύονται είτε σε μορφή 16-bit προσημασμένου ακεραίου, είτε σε μορφή κινητής υποδιαστολής. Η μορφή των δεδομένων μπορεί να βρεθεί διαβάζοντας την επικεφαλίδα (header) του C3D αρχείου σε δυαδικό (binary) επίπεδο, χωρίς να κάνουμε υποθέσεις για την μορφή. Για συμβατότητα με διάφορα λειτουργικά συστήματα, όλα τα C3D αρχεία θα πρέπει να αποτελούνται από μπλοκ των 512 bit (ή 256 λέξεις των 16-bit).



Όλα τα C3D αρχεία περιέχουν τουλάχιστον τους εξής τρεις τομείς πληροφοριών [3] :

- Μία **επικεφαλίδα** (header section) μεγέθους 512 byte.
- Έναν **τομέα παραμέτρων** , αποτελούμενο από ένα ή περισσότερα μπλοκ των 512 byte.
- Έναν **τομέα 3D-σημείων/αναλογικών πληροφοριών** (3D point/analog data) αποτελούμενο από ένα ή περισσότερα μπλοκ των 512 byte.

A single 512 byte header section
A parameter section consisting of one or more 512-byte blocks.
3D point/analog data section consisting of one or more 512-byte blocks.

Εικόνα 2-1 Η δομή ενός c3d αρχείου

2.1 Επικεφαλίδα

Ο πρώτος τομέας ενός C3D αρχείου είναι η επικεφαλίδα και βρίσκεται στο μπλοκ 1. Η πρώτη λέξη ενός C3D αρχείου προσδιορίζει που βρίσκεται η αρχή του τομέα παραμέτρων στο αρχείο, ο οποίος με την σειρά του περιέχει έναν δείκτη προς την αρχή του τομέα των 3D πληροφοριών, καθώς και σημαντικό πλήθος πληροφοριών απαραίτητων για να διαβαστεί ο τομέας των 3D και να ερμηνευθεί το περιεχόμενο.

WORD	Typical Value	Description
1	0x5002 hex	Byte 1: Points to the first block of the parameter section. Byte 2: Key value 0x50h indicating a C3D file.
2	nn	Number of 3D points in the C3D file (i.e. the number of stored trajectories).
3	nn	Total number of analog measurements per 3D frame, i.e. number of channels multiplied by the samples per channel.
4	1	Number of the first frame of 3D data (1 based, not 0).
5	nn	Number of the last frame of 3D data.
6	10	Maximum interpolation gap in 3D frames.
7 – 8	nnnn	The 3D scale factor (floating-point) that converts signed integer 3D data to reference system measurement units. If this is negative then the file is scaled in floating-point.
9	nn	DATA_START – the number of the first block of the 3D and analog data section.
10	nn	The number of analog samples per 3D frame.
11 – 12	60.000	The 3D frame rate in Hz (floating-point).
13 – 147	0x00 hex	Reserved for future use.
148	0x3039 hex	A key value (12345 decimal) is written here if Label and Range data is present, otherwise write 0x00.
149	nn	The first block of the Label and Range section (if present).
150	0x3039 hex	A key value (12345 decimal) present if this file supports 4 char event labels. An older format supported only 2 character labels.
151	0	Number of defined time events (0 to 18)
152	0x00 hex	Reserved for future use.
153 – 188	-	Event times (floating-point) in seconds (up to 18 events).
189 – 197	-	18 bytes - event display flags 0x00 = ON, 0x01 = OFF.
198	0x00 hex	Reserved for future use.
199 – 234	-	Event labels. Each label is 4 characters long
235 – 256	0x00 hex	Reserved for future use.

Εικόνα 2.1-1 Τομέας Επικεφαλίδας

2.2 Τομέας Παραμέτρων

Ο τομέας παραμέτρων συνήθως ξεκινάει από το μπλοκ νούμερο 2, αν και αυτό δεν συμβαίνει πάντα. Τα C3D αρχεία απαιτούν ο τομέας πληροφοριών να ξεκινά από το σημείο που υποδεικνύει ο δείκτης στην επικεφαλίδα. Δεν έχει σταθερό μέγεθος, αλλά συνήθως καταλαμβάνει 8 με 10 μπλοκ.

Byte	Length (bytes)	Description
1	1	Number of characters in the Group name (1-127) – this value may be set to a negative number to indicate that the group is “locked.”
2	1	Group ID number (-1 to -127 ... always negative).
3	N	Group name (ASCII characters – upper case A-Z, 0-9 and underscore _ only)
3 + n	2	A signed integer offset in bytes pointing to the start of the next group/parameter.
3 + n + 2	1	Number of characters in the Group description.
3 + n + 3	M	Group description (ASCII characters – mixed case).

Εικόνα 2.2-1 Τομέας Παραμέτρων

2.3 Τομέας 3D Πληροφοριών

Συνήθως εντοπίζεται σε κάποιο σημείο μετά τον τομέα παραμέτρων και προσδιορίζεται από τον δείκτη : «**POINT:DATA_START**» που βρίσκεται στον τομέα παραμέτρων. Είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι ο προσδιορισμός των C3D αρχείων επιτρέπει την ύπαρξη επιπλέον τομών δεδομένων.

3D data for frame 1	
Analog data for frame 1	
3D data for frame 2	
Analog data for frame 2	
:	
:	
:	
3D data for frame ‘n’	Where ‘n’ is the number of frames stored – this is recorded in the C3D header record as word 5 – word 3 + 1
Analog data for frame ‘n’	

Εικόνα 2.3-1 Τομέας 3D πληροφοριών

Κεφάλαιο 3 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΗΣ

3.1 Περιγραφή Μεθόδων

Τα C3D αρχεία περιέχουν δεδομένα θέσεως. Από αυτά τα δεδομένα μπορούμε με διάφορες μεθόδους να υπολογίσουμε την επιτάχυνση. Η επιτάχυνση ως γνωστόν είναι : $a = d^2x/dt^2$, όπου x η τιμή της θέσης σε κάθε χρονική στιγμή t =

{1,2,...,n}. Για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης, δεδομένου της τιμής θέσεως, χρησιμοποιήσαμε 8 διαφορετικές μεθόδους. Η χρήση αυτών των μεθόδων μπορεί να γίνει εύκολα και γρήγορα μέσω του λογισμικού APA (ACCELERATION & POSITION ANALYSIS) που έχει σχεδιαστεί στο γραφικό περιβάλλον GUI του MATLAB. Η χρήση και η χρησιμότητά του θα παρουσιαστούν σε επόμενο κεφάλαιο. Οι μέθοδοι υπολογισμού της επιτάχυνσης είναι:

- ομαλοποιημένες κυβικές splines τάξεως 2
- με κατά τμήματα πολυώνυμα τρίτου βαθμού
- με hermitte κατά τμήματα πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού
- με γραμμική παρεμβολή
- με χρήση ενός μοναδικού πολυωνύμου
- με προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων με κυβικές splines
- με προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων(spar2)
- με χρήση ενός προσαρμοστικού φίλτρου butterworth δεύτερης τάξεως

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε, προκύπτει ότι οι ομαλοποιημένες κυβικές splines τάξεως 2, τα κατά τμήματα πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού, τα hermitte κατά τμήματα πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού αλλά και η προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων με κυβικές splines παρουσιάζουν όμοια αποτελέσματα. Βέβαια η δυνατότητα που δίνεται στο χρήστη μέσω του APA να τροποποιήσει όπως επιθυμεί τους υπολογισμούς μπορεί να προσφέρει αποδοτικότερα αποτελέσματα. Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος Butterworth είναι ένας αποδεδειγμένα σωστός τρόπος για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης. Η δημιουργία του αλγόριθμου έγινε στο εργαστήριο KISS στην Τουρκία και από τον Koray Savas Erer [13].



Εικόνα 3.1-1 Η διαρρύθμιση του εργαστηρίου KISS στην Τουρκία

Απλά τα αποτελέσματα μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με τα cutoff που θα εισάγει ο χρήστης. Το ζήτημα του βέλτιστου cutoff που πρέπει να δοθεί για κάθε πείραμα είναι ένα πολυσυζητημένο θέμα, χωρίς να υπάρχει έως τώρα κάποια αποδεδειγμένη μέθοδος υπολογισμού του [8]. Η ιδιαιτερότητα του προσαρμοστικού αλγορίθμου Butterworth που τον κάνει να διαφοροποιείται από τον κανονικό είναι ότι δέχεται min cutoff και max cutoff (f_1 , f_1+f_2) με αποδεδειγμένα καλύτερα αποτελέσματα από τον κανονικό Butterworth.

Οι παραπάνω μέθοδοι γίνανε για να παρεμβάλουν τα δεδομένα θέσεως, ανάμεσα στα διακριτά σημεία του χρόνου. Έπειτα υπολογίζοντας την δεύτερη παράγωγο στα πολυώνυμα παρεμβολής που βρήκαμε, υπολογίζουμε την ζητούμενη επιτάχυνση. Η δημιουργία όλων αυτών των μεθόδων έγινε στο Matlab με χρήση διάφορων συναρτήσεων.

3.2 ΥΛΟΠΟΙΣΗ ΣΤΟ MATLAB:

Η **a)** μέθοδος, ομαλοποιημένες κυβικές splines τάξεως 2, υλοποιήθηκε με χρήση της `spaps(t , x , tol , m)`, όπου t ο χρόνος, x τα δεδομένα θέσεως, tol η ανοχή και m ο βαθμός της παραγωγής που επιδέχεται ομαλοποίηση. Προφανώς ο βαθμός που επιθυμούμε για τον υπολογισμό της επιτάχυνσης είναι δευτέρου. Έπειτα χρησιμοποιήθηκε η συνάρτηση `fnder(sp , 2)` για να βρεθεί η 2^η παράγωγος του πολυωνύμου. Οι ζητούμενες τιμές της επιτάχυνσης υπολογίζονται με χρήση της συνάρτησης `fnval`. Παρακάτω παρατίθεται ένα τμήμα από τον κώδικα.

```
[sp(i,j) valuesp(:,(i-1)*3+j)]=spaps(t,ft(:,(i-1)*3+j),0,2);
fnd(i,j)=fnder(sp(i,j),2);
valuesacc(:,(i-1)*3+j)=fnval(fnd(i,j),t);
```

Η **b)** μέθοδος, κατά τμήματα πολυώνυμα τρίτου βαθμού, υλοποιήθηκε με τη συνάρτηση `splines(t , x)`, με t τον χρόνο του πειράματος και x τα δεδομένα θέσεως. Έπειτα με χρήση της `fnder(sp , 2)` υπολογίσαμε την δεύτερη παράγωγο του παραβάλλοντος πολυωνύμου και έπειτα εξαγάγαμε τις τιμές της επιτάχυνσης με χρήση της `fnval` . Παρακάτω παρατίθεται ένα τμήμα από τον κώδικα.

```
spl(i,j) =spline(t,ft(:,(i-1)*3+j));
```

```
fnds(i,j)=fnder(spl(i,j),2);
valuesaccspl(:,(i-1)*3+j)=fnval(fnds(i,j),t);
```

Η **c)** μέθοδος, hermitte πολυώνυμα 3^{ου} βαθμού, υλοποιήθηκε με χρήση της συνάρτησης pchip(t,x) με t τον χρόνο του πειράματος και x τα δεδομένα θέσεως. Όπως και στις προηγούμενες μεθόδους γίνεται χρήση της fnder και της fnval για παραγωγή των ζητούμενων δεδομένων της επιταχύνσεως. Παρακάτω παρατίθεται ένα τμήμα από τον κώδικα:

```
pcs(i,j)=pchip(t,ft(:,(i-1)*3+j));
fndpcs(i,j)=fnder(pcs(i,j),2);
valuesaccpch(:,(i-1)*3+j)=fnval(fndpcs(i,j),t);
```

Η **d)** μέθοδος, γραμμική παρεμβολή, υλοποιήθηκε με χρήση της interp1(t,x,'linear','pp') για την γραμμική παρεμβολή των δεδομένων θέσεως στον χρόνο. Επίσης γίνεται χρήση της ppval για την αξιολόγηση των τμηματικών πολυωνύμων που παράχθηκαν από την interp1 και έπειτα χρήση της συνάρτησης diff(sp,2) για την εύρεση των τιμών της δεύτερης παραγώγου στα σημεία του χρόνου. Παρακάτω δίνεται ένα τμήμα του κώδικα:

```
maxPOS=max(t);
minPOS=min(t);
xx=linspace(minPOS,maxPOS,b);
new_time=xx';
linP(i,j)=interp1(t',ft(:,(i-1)*3+j),'linear','pp');
lval(:,(i-1)*3+j)=ppval(linP(i,j),xx);
fnlin(:,(i-1)*3+j)=diff(lval(:,(i-1)*3+j),2);
```

Η **e)** μέθοδος, χρήση ενός μοναδικού πολυωνύμου, είναι η πιο απλή από τις άλλες, καθώς υπολογίζεται ένα μοναδικό πολυώνυμο βαθμού επιλογής του χρήστη για την παρεμβολή των δεδομένων θέσεως στον χρόνο του πειράματος. Οι εντολές που χρησιμοποιήθηκαν σε αυτή τη μέθοδο είναι η polyfit, η polyder και η polyval. Η polyfit υπολογίζει το πολυώνυμο, η polyder υπολογίζει την παράγωγο του πολυωνύμου και η polyval υπολογίζει τις τιμές της επιταχύνσεως στον χρόνο του πειράματος. Ένα δείγμα από τον κώδικα δίνεται παρακάτω.

```
plf(:,(i-1)*3+j)=polyfit(t,ft(:,(i-1)*3+j),num_poly);
fnd1plf(:,(i-1)*3+j)=polyder(plf(:,(i-1)*3+j));
fndplf(:,(i-1)*3+j)=polyder(fnd1plf(:,(i-1)*3+j));
polyacc(:,(i-1)*3+j)=polyval(fndplf(:,(i-1)*3+j),t);
```

Η **f)** μέθοδος, προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων με κυβικές splines, υλοποιήθηκε με χρήση της συνάρτησης spline(b,x,t). Όπου t ο χρόνος του πειράματος, b το break sequence και x τα δεδομένα θέσεως. Εδώ γίνεται χρήση της μεθόδου των ελαχίστων τετραγώνων με χρήση κυβικών splines. Ο ορισμός αυτής της

μεθόδου στο Matlab είναι: `spline(b,y(:)'/spline(b,eye(length(b)),x(:)'))`. Η μέθοδος αυτή είναι ευρέως διαδεδομένη στον τομέα των *biomechanics*. Ένα δείγμα από τον κώδικα δίνεται παρακάτω. Επίσης έγινε χρήση των εντολών `fnder` και `fnval` για τον υπολογισμό των δεδομένων της επιτάχυνσης.

```
spls(i,j)=spline(b,ft(:,(i-1)*3+j)'/spline(b,eye(length(b)),t')));
splsvl(:,(i-1)*3+j)=ppval(spls(i,j),b);
fndls(i,j)=fnder(spls(i,j),2);
lsacc(:,(i-1)*3+j)=fnval(fndls(i,j),t);
```

Η **g** μέθοδος, προσέγγιση ελαχίστων τετραγώνων, υλοποιήθηκε με χρήση της συνάρτησης `spap2(l,k,t,x)`. Όπου *l* είναι ο αριθμός των τμηματικών πολωνύμων που επιστρέφονται, *k* ο βαθμός του πολωνύμου *t* ο χρόνος του πειράματος και *x* τα δεδομένα θέσεως. Τα πολωνύμια που επιστρέφονται έχουν *k-2* συνεχής παραγώγους. Επίσης έχει γίνει χρήση της `fnder` και της `fnval`. Ένα δείγμα από τον κώδικα δίνεται παρακάτω. Ο χρήστης έχει την δυνατότητα να επιλέξει τον αριθμό των τμηματικών πολωνύμων που επιθυμεί να επιστραφούν για πιο αποδοτικό υπολογισμό της επιτάχυνσης.

```
spapP(i,j)=spap2(l,4,t,ft(:,(i-1)*3+j));
spapder(i,j)=fnder(spapP(i,j),2);
spap2acc(:,(i-1)*3+j)=fnval(spapder(i,j),t);
```

Η **h** μέθοδος είναι ο προσαρμοστικός αλγόριθμος Butterworth δεύτερης τάξεως. Στον “κανονικό” αναδρομικό ψηφιακό φιλτράρισμα Butterworth ισχύει: $Y(n)=a(x(n)+2x(n-1)+x(n-2))+b1Y(n-1)+b2Y(n-2)$. Οι συντελεστές *a*, *b1*, *b2* υπολογίζονται από την μέθοδο των Robertson και Dowling. Οι μεταβλητές *Y* είναι τα φιλτραρισμένα δεδομένα θέσεως και οι μεταβλητές *x* είναι τα αφιλτράριστα δεδομένα θέσεως. Οι τιμές της ταχύτητας και της επιτάχυνσης δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$y'_k = \frac{-y_{k+2} + 8y_{k+1} - 8y_{k-1} + y_{k+2}}{12/f_s}$$

$$y''_k = \frac{-y_{k+2} + 16y_{k+1} - 30y_k + 16y_{k-1} - y_{k+2}}{12/f_s^2}$$

Υπόμνημα: Όπου *F_s* η συχνότητα του πειράματος. Ο προσαρμοστικός αλγόριθμος Butterworth για το φιλτράρισμα επιλέγει την cutoff συχνότητα σε κάθε σημείο του χρόνου από τον τύπο $f(n)=f1+(f1+f2)c(n)$. Όπου *f1* είναι η low cutoff συχνότητα και *f1+f2* η high cutoff συχνότητα. Η μεταβλητή *c* υπολογίζεται από τον παρακάτω τύπο: $d(n)=vel(n)+acc(n)$ και $c(n)=d(n)/\max(d)$ [13].

Κεφάλαιο 4 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ TXT ΑΡΧΕΙΟΥ ΕΠΙΤΑΧΥΝΣΕΩΝ

Αρχεία txt μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποθήκευση των τιμών της επιτάχυνσης που μετρούνται κατά την διάρκεια ενός πειράματος. Τα αρχεία txt που μελετήσαμε περιέχουν αριθμούς που αντιστοιχούν στην επιτάχυνση από κάθε άξονα για κάθε μετρητή επιτάχυνσης για κάθε χρονική στιγμή. Οι τιμές επαναλαμβάνονται μέχρι το τέλος του αρχείου ώστε να παρουσιαστούν τα δεδομένα για κάθε χρονική στιγμή. Παρακάτω παρατίθεται η μορφή ενός τέτοιου αρχείου όπου χρησιμοποιήθηκαν τρία επιταχυνσιόμετρα, ένα στην μέση και ένα σε κάθε χέρι.

```
ACC_X_B1 ACC_Y_B_1 ACC_Z_B_1 ACC_X_R_1 ACC_Y_R_1 ACC_Z_R_1
ACC_X_L_1 ACC_Y_L_1 ACC_Z_L_1 ACC_X_B_2 ACC_Y_B_2 ACC_Z_B_2
.....
.....
.....
```

Υπόμνημα: όπου ACC_a_B_i η i-οστή μέτρηση στον άξονα a για το επιταχυνσιόμετρο στην μέση, όπου ACC_a_R_i η i-οστή μέτρηση στον άξονα a για το επιταχυνσιόμετρο στον δεξιό καρπό και όπου ACC_a_L_i η i-οστή μέτρηση στον άξονα a για το επιταχυνσιόμετρο στο αριστερό καρπό.

Ένας πιο εύχρηστος τύπος txt είναι τα αρχεία .txt._matlab. Τα συγκεκριμένα αρχεία έχουν συγκεκριμένη μορφή. Κάθε γραμμή περιέχει ένα αριθμό που αντιστοιχεί στην επιτάχυνση από κάθε άξονα για κάθε μετρητή επιτάχυνσης για κάθε χρονική στιγμή. Η σειρά επαναλαμβάνετε μέχρι το τέλος του αρχείου ώστε να παρουσιαστούν τα δεδομένα για κάθε χρονική στιγμή. Παρακάτω παρατίθεται η μορφή ενός τέτοιου αρχείου όπου χρησιμοποιήθηκαν τρία επιταχυνσιόμετρα, ένα στην μέση και ένα σε κάθε χέρι [6].

```
μέτρηση X για το επιταχυνσιόμετρο στην μέση
μέτρηση Y για το επιταχυνσιόμετρο στην μέση
μέτρηση Z για το επιταχυνσιόμετρο στην μέση
μέτρηση X για το επιταχυνσιόμετρο στον δεξιό καρπό
μέτρηση Y για το επιταχυνσιόμετρο στον δεξιό καρπό
μέτρηση Z για το επιταχυνσιόμετρο στον δεξιό καρπό
μέτρηση X για το επιταχυνσιόμετρο στο αριστερό καρπό
μέτρηση Y για το επιταχυνσιόμετρο στο αριστερό καρπό
μέτρηση Z για το επιταχυνσιόμετρο στο αριστερό καρπό
.....
.....
```


Κεφάλαιο 5 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΘΕΣΗΣ

5.1 Περιγραφή Μεθόδων

Ο υπολογισμός της θέσης από δεδομένα επιτάχυνσης (αρχεία txt) σε διακριτά σημεία στο χρόνο είναι ένα διακριτό πρόβλημα επίλυσης Συνήθων Διαφορικών Εξισώσεων δεύτερης τάξης. Η εξίσωση που πρέπει να λυθεί είναι $d^2x/dt^2 = a$

Ο υπολογισμός της θέσης γίνεται από έξι διαφορετικές μεθόδους.

1. Η explicit Runge-Kutta 2^{ης} τάξης.
2. Η explicit Runge-Kutta 4^{ης} τάξης.
3. Οι μέθοδοι Adams- Bashforth- Moulton.
4. Οι μέθοδοι του Gear.
5. Η μέθοδος του Rosenbrock τάξεως δευτέρου.
6. Η μέθοδος Runge-Kutta-Gill.

5.2 Σύντομη μαθηματική περιγραφή των παραπάνω μεθόδων [9]:

Μέθοδοι Runge-Kutta: Πρόκειται για οικογένεια μεθόδων ενός βήματος με την έννοια ότι η τιμή της εξαρτημένης τιμής στο τέλος του βήματος εξαρτάται μόνο από την πληροφορία που αντλείται μέσα από το συγκεκριμένο βήμα. Δηλαδή η τιμή Y_{i+1} εξαρτάται μόνο από Y_i και άλλες τιμές της Y στο διάστημα $[X_i, X_{i+1}]$.

1. Η Runge-Kutta 2^{ης} τάξης δίδεται από την σχέση:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} [f(x_i, y_i) + f(x_{i+1}, y_i + hf(x_i, y_i))].$$

Η Runge-Kutta 2^{ης} τάξης συνοψίζεται στον αλγόριθμο

$$k_1 = \frac{h}{2} f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + h, y_i + hk_1)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{h}{2} (k_1 + k_2)$$

2. Η γενική μορφή των μεθόδων Runge-Kutta 4^{ης} τάξης είναι

$$y_{i+1} = y_i + h(ak_1 + bk_2 + ck_3 + dk_4)$$

όπου οι ποσότητες k_1, k_2, k_3, k_4 είναι προσεγγιστικές τιμές της dy/dx σε διαφορετικά σημεία του υποδιαστήματος $[x_i, x_i + h]$. Οι πλέον δημοφιλείς Runge-Kutta 4^{ης} τάξης είναι οι αλγόριθμοι:

$$k_1 = f(x_i, y_i)$$

$$k_2 = f(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_1)$$

$$k_3 = f(x_i + \frac{h}{2}, y_i + \frac{h}{2}k_2)$$

$$\begin{aligned}
k_4 &= f(x_i + h, y_i + hk_3) \\
y_{i+1} &= y_i + \frac{h}{6} (k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4) \\
\text{και } k_1 &= f(x_i, y_i) \\
k_2 &= f(x_i + \frac{h}{3}, y_i + \frac{h}{3}k_1) \\
k_3 &= f(x_i + \frac{2h}{3}, y_i + \frac{2h}{3}k_2) \\
k_4 &= f(x_i + h, y_i + hk_3) \\
y_{i+1} &= y_i + \frac{h}{8} (k_1 + 3k_2 + 3k_3 + k_4)
\end{aligned}$$

3. Οι μέθοδοι Adams-Bashforth-Moulton είναι πολυβηματικές μέθοδοι. Πολυβηματική μέθοδος για την επίλυση του προβλήματος αρχικών τιμών

$$y' = f(t, y) \quad a \leq t \leq b \quad \text{και} \quad y(a) = a$$

ονομάζεται η μέθοδος στην οποία η διαφορική εξίσωση που χρησιμοποιείται για την προσέγγιση w_{i+1} στο κομβικό σημείο t_{i+1} μπορεί να δοθεί από την εξίσωση:

$$w_{i+1} = a_{m-1}w_i + a_{m-2}w_{i-1} + \dots + a_0w_{i+1-m} + h[b_m f(t_{i+1}, w_{i+1}) + b_{m-1}f(t_i, w_i) + \dots + b_0f(t_{i+1-m}, w_{i+1-m})]$$

για $i = m-1, m-2, \dots, N-1$ όπου m ακέραιος με $m > 1$ και οι αρχικές συνθήκες

$$w_0 = a_0$$

$$w_1 = a_1$$

$$w_2 = a_2$$

...

$$w_{m-1} = a_{m-1}$$

προσδιορίζονται και το βήμα h υπολογίζεται από τη σχέση $h = (b-1)/N$. Υπάρχουν πολλές μέθοδοι Adams-Bashforth-Moulton διαφορετικής τάξης. Αυτές χωρίζονται σε δύο κατηγορίες έμμεσες και άμεσες ανάλογα την τιμή του b_m .

4. Οι μέθοδοι του Gear (Backward Differentiation Formulas) είναι πολυβηματικές μέθοδοι και η τάξη στην ακρίβεια της λύσης ποικίλει.

5. Οι μέθοδοι Rosenbrock είναι μια οικογένεια μεθόδων που δεν ανήκουν στην κατηγορία Runge- Kutta αλλά αποτελούν κατά κάποιο τρόπο ενδιάμεσο βήμα μεταξύ των άμεσων και πεπλεγμένων μεθόδων Runge- Kutta. Οι μέθοδοι Rosenbrock είναι μονοβηματικές μέθοδοι και ορίζονται ως εξής:
 $Y'=f(y), y(t)$

$$\begin{cases} k^{n,i} = f\left(y^n + h \sum_{j=1}^{i-1} a_{ij} k^{n,j}\right) + hJ(y^n) \sum_{j=1}^i \gamma_{ij} k^{n,j}, & i = 1, \dots, q, \\ y^{n+1} = y^n + h \sum_{i=1}^q b_i k^{n,i}, \end{cases}$$

6. Η μέθοδος Runge-Kutta-Gill ανήκει στην οικογένεια των Runge Kutta μεθόδων και έχει την εξής μορφή:

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{3} h[k_1 + 2\left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)k_2 + 2\left(1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)k_3 + k_4]$$

για $i = 0, 1, \dots, N-1$

όπου $k_1 = f(x_i, y_i)$

$$k_2 = f\left(x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \frac{1}{2}hk_1\right)$$

$$k_3 = f\left[x_i + \frac{1}{2}h, y_i + \left(-\frac{1}{2} + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)hk_1 + \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right)hk_2\right]$$

$$k_4 = f\left[x_i + h, y_i - \left(\frac{1}{\sqrt{2}}hk_2 + 1 + \frac{1}{\sqrt{2}}\right)hk_3\right]$$

5.3 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΟ MATLAB:

Όλοι οι παραπάνω μέθοδοι χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της θέσης των markers δεδομένου των τιμών επιτάχυνσης.

Συγκεκριμένα η explicit Runge-Kutta 2^{ης} τάξεως υλοποιήθηκε στο Matlab μέσω της συνάρτησης [time, pos]=ode23(@fun, timespan, initialconditions). Όπου fun η συνάρτηση που επιλύει την διαφορική εξίσωση δευτέρου βαθμού, timespan το διάστημα με τα διακριτά σημεία του χρόνου και όπου initialconditions οι αρχικές τιμές της θέσεως και της ταχύτητας του marker. Η συνάρτηση επιστρέφει δύο πίνακες. Ο πρώτος πίνακας περιέχει τις τιμές του διακριτού χρόνου και ο δεύτερος πίνακας περιέχει τις τιμές της θέσεως και της ταχύτητας στους χρόνους του πρώτου

πίνακα. Ένα τμήμα του κώδικα για τον υπολογισμό των markers στον άξονα x παρατίθεται παρακάτω:

```
[xsplines val]=spaps(time,(acc.X),0,2);  
for cnt=1:markers  
    [handles.timex23, handles.xpos23(:,cnt)] = ode23(@rhsX,  
time, initCondx(:,cnt));  
end
```

Ο κώδικας για την συνάρτηση που επιλύει την διαφορική εξίσωση δευτέρου βαθμού παρατίθεται παρακάτω:

```
function dy = rhsX(t,y)  
    global xsplines cnt  
    d2values = fnval(xsplines, t);  
    dy = [y(2); d2values(cnt,:)];  
end
```

Όπου $y(2)=dy/dt$ και $d2values=dz/dt$.

Η 2^η μέθοδος ,explicit Runge-Kutta 4^{ης} ,τάξεως υλοποιήθηκε στο Matlab με χρήση της συνάρτησης [time, pos]=ode45(@fun, timespan, initialconditions). Οι υπολογισμοί γίνανε με τρόπο παρόμοιο της πρώτης μεθόδου.

Η 3^η μέθοδος (μέθοδοι Adams-Bashforth-Moulton) υλοποιήθηκε στο Matlab με χρήση της συνάρτησης [time, pos]=ode113(@fun, timespan, initialconditions). Οι υπολογισμοί και σε αυτή τη μέθοδο γίνανε με παρόμοιο τρόπο αυτής της πρώτης μεθόδου.

Η 4^η μέθοδος (μέθοδοι του Gear) υλοποιήθηκε στο Matlab με χρήση της [time, pos]=ode15s(@fun, timespan, initialconditions).

Η 5^η μέθοδος (μέθοδοι του Rosenbrock) υλοποιήθηκε στο Matlab με χρήση της συνάρτησης [time, pos]=ode23s(@fun, timespan, initialconditions).

Η 6^η μέθοδος (Runge-Kutta-Gill) δεν είναι υλοποιημένη μέσω μιας έτοιμης συνάρτησης του MATLAB. Χρησιμοποιήθηκε κώδικας από το Computational Fluid Dynamics ο οποίος τροποποιήθηκε για την χρήση στο λογισμικό APA [12].

Solver	Problem Type	Order of Accuracy
ode45	Nonstiff	Medium
ode23	Nonstiff	Low
ode113	Nonstiff	Low to high
ode15s	Stiff	Low to medium
ode23s	Stiff	Low

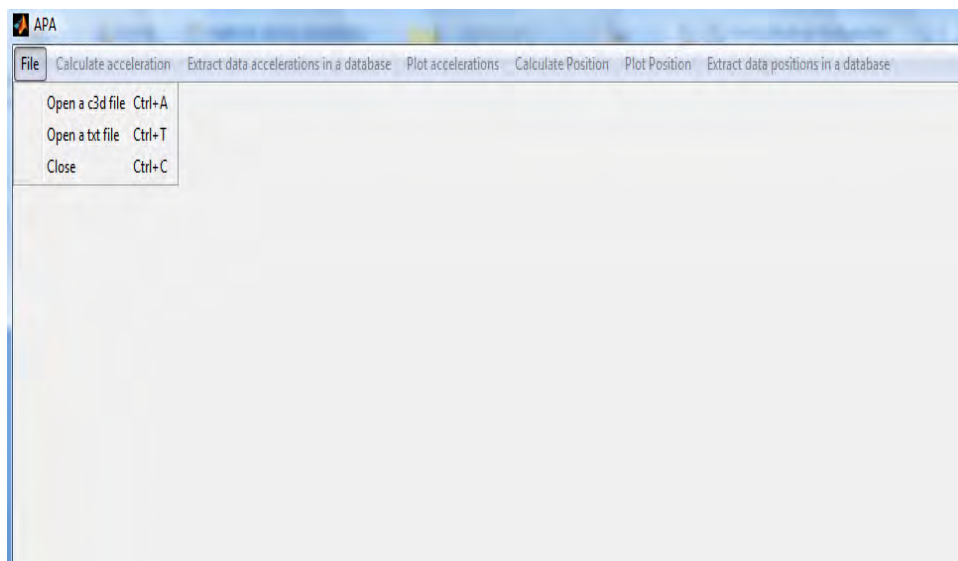
5.3-1 Πίνακας με τους τρόπους λύσης ΣΔΕ και της ακρίβειας τους [11]

Κεφάλαιο 6 - ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ APA (ACCELERATION & POSITION ANALYSIS)

6.1 Εισαγωγή στο APA –Άνοιγμα C3D αρχείων

Το λογισμικό APA (ACCELERATION & POSITION ANALYSIS) έχει σχεδιαστεί στο MATLAB, στο γραφικό περιβάλλον (GUI) έτσι ώστε να είναι εύχρηστο και αποτελεσματικό για οποιοδήποτε χρήστη. Ο κύριος σκοπός της σχεδίασης του APA είναι να είναι ένας εύχρηστος και αποδοτικός τρόπος υπολογισμού της επιτάχυνσης και της θέσης, από δεδομένα θέσεως και δεδομένα επιτάχυνσης αντίστοιχα. Το APA αποτελείται από περίπου 7.500 γραμμών κώδικα στο Matlab και για την χρήση του απαιτείται το λογισμικό Matlab, ο C3DSERVER[6] και ένα λογισμικό για την δημιουργία βάσεων δεδομένων [15]. Παρακάτω ακολουθεί μια πλήρης περιγραφή των δυνατοτήτων και της σωστής χρήσης του APA.

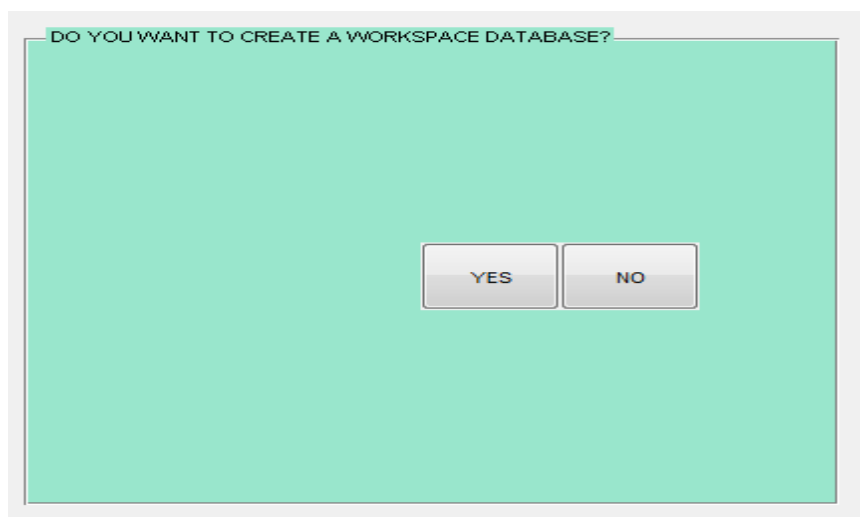
Ανοίγοντας το APA ο χρήστης έχει την δυνατότητα να ανοίξει ένα αρχείο C3D ή ένα txt αρχείο.



Εικόνα 6.1-1 Ανοίγοντας το λογισμικό APA

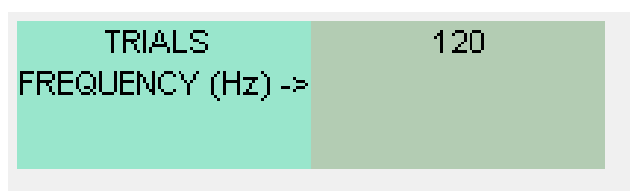
6.2 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων

Αν ο χρήστης επιλέξει να ανοίξει ένα αρχείο C3D τότε εμφανίζεται στην οθόνη ένα panel για το αν επιθυμεί να δημιουργήσει μια βάση δεδομένων (Workspace) για τους υπολογισμούς που θα πραγματοποιηθούν και για τα αρχικά δεδομένα.



Εικόνα 6.2-1 Επιλογή για δημιουργία βάσης δεδομένων

Επίσης εμφανίζεται στο δεξιό μέρος της οθόνη η συχνότητα του πειράματος και τα ονόματα των markers με ένα μοναδικό id για κάθε marker.



Εικόνα 6.2-2 Εμφάνιση της συχνότητας του πειράματος

	Markers
1	RELB
2	LELB
3	RTHPD
4	LWR
5	RTHLP
6	RSHO
7	C7
8	SACR
9	RPAT
10	RMFL
11	RP1MT
12	RWR
13	RLEPI
14	RTIAP
15	RPSMT
16	RTOE
17	RMFS
18	RTHLD
19	RHEEL
20	RLMAL
21	RTIAD
22	LTHPD
23	LSHO
24	LTHLP
25	LTHAP
26	RTHAP
27	LTHLD
28	LTIAP
29	RASI
30	LPSMT
31	LTHAD
32	LTIAD
33	LLMAL
34	LHEEL

Εικόνα 6.2-3 Εμφάνιση των markers

Σε περίπτωση που ο χρήστης επιθυμεί τη δημιουργία βάσεως δεδομένων, τότε δημιουργείται αυτόματα μια βάση δεδομένων με όνομα Workspace. Η βάση Workspace περιέχει ένα αρχικό table με όνομα trials το οποίο περιέχει το id του πειράματος, το οποίο είναι μοναδικό για κάθε όνομα αρχείου, τον αριθμό του πειράματος που πραγματοποιήθηκε με το άνοιγμα του APA, το όνομα του αρχείου και τον τύπο του αρχείου που ανοίχτηκε. Ένας δεύτερος κενός πίνακας δημιουργείται με όνομα property_(το όνομα του αρχείου) ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά με ευθύνη του χρήστη και θα περιγραφεί στην παράγραφο 6-14.

Επίσης δημιουργείται και ένα τρίτο table με όνομα initial_pos_(το όνομα του αρχείου) το οποίο περιέχει κατά στήλη τα frames του πειράματος, το key_trial που αντιστοιχεί στο id του πρώτου πίνακα trials, την ελάχιστη τιμή της θέσεως ανά χρονική στιγμή, την μέγιστη τιμή θέσεως ανά χρονική στιγμή, τις διακριτές τιμές του χρόνου του πειράματος και έπειτα τις τιμές θέσεως για κάθε marker στους άξονες X, Y, Z. Οι εικόνες παρακάτω δείχνουν την δομή των tables που δημιουργήθηκαν.

	id	experiment	fname	input
▶	1	1	test.c3d	c3d
✱	NULL	NULL	NULL	NULL

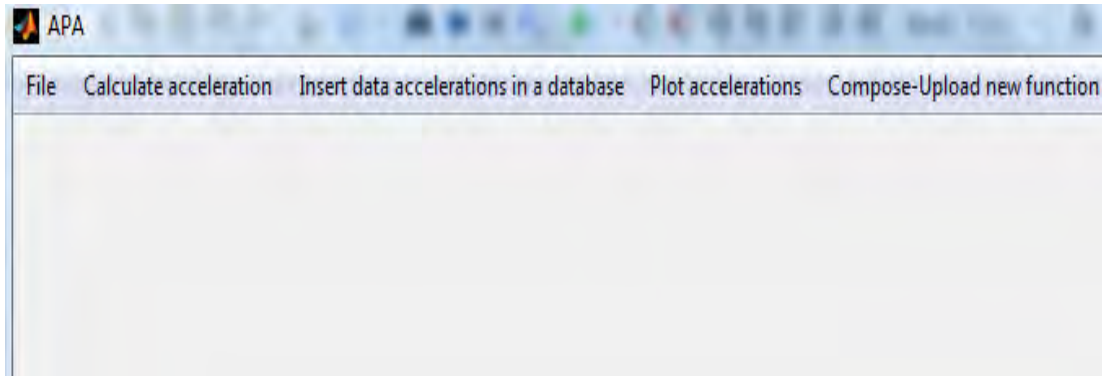
Εικόνα 6.2-4 Ο πρώτος πίνακας trials

	FRAMES	key_trial	Min	Max	TIME	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
▶	1	2	-382.384	1513.54	0	487.5	1118.96	-41.7619	-90.9205	1107.55	56.1556
	2	2	-382.549	1515.31	0.00833333	486.341	1119.69	-50.8706	-92.081	1108.1	39.8165
	3	2	-382.669	1517.17	0.0166667	485.194	1120.45	-59.5646	-93.4868	1108.74	23.3772
	4	2	-382.782	1519.02	0.025	483.912	1121.37	-67.8987	-95.0104	1109.52	6.77089
	5	2	-382.91	1520.86	0.0333333	482.782	1122.25	-76.3408	-96.5941	1110.46	-9.94952
	6	2	-383.051	1522.75	0.0416667	481.814	1123.16	-84.7366	-98.1395	1111.56	-26.6547
	7	2	-383.241	1524.66	0.05	480.641	1124.28	-92.5926	-99.6174	1112.8	-43.3483
	8	2	-383.405	1526.64	0.0583333	479.363	1125.47	-100.148	-101.043	1114.21	-60.0138
	9	2	-383.525	1528.63	0.0666667	478.244	1126.58	-107.842	-102.485	1115.74	-76.5959
	10	2	-383.711	1530.53	0.075	477.025	1127.87	-115.296	-103.915	1117.35	-93.1582
	11	2	-383.81	1532.32	0.0833333	475.66	1129.21	-122.66	-105.285	1119.04	-109.716
	12	2	-383.786	1534	0.0916667	474.357	1130.32	-130.382	-106.637	1120.79	-126.163
	13	2	-383.855	1535.6	0.1	472.977	1131.44	-137.936	-107.982	1122.6	-142.52
	14	2	-383.941	1537.11	0.108333	471.477	1132.59	-145.141	-109.275	1124.41	-158.873
	15	2	-393.027	1538.48	0.116667	469.913	1133.61	-152.304	-110.517	1126.2	-175.169
	16	2	-412.692	1539.74	0.125	468.298	1134.45	-159.452	-111.74	1127.93	-191.376

Εικόνα 6.2-5 Ο τρίτος πίνακας initial_pos_test.c3d

6.3 Υπολογισμός της Επιτάχυνσης

Με το άνοιγμα ενός C3D αρχείου ενεργοποιούνται οι επιλογές Calculate acceleration, Plot accelerations, Compose-Upload new function. Στην περίπτωση που έχει δημιουργηθεί βάση δεδομένων, ενεργοποιείται και η Insert data accelerations in a database.



Εικόνα 6.3-1 Εμφάνιση των επιλογών που έχει ο χρήστης κατά το άνοιγμα ενός αρχείου C3D

Έστω ότι ο χρήστης επιλέξει το menu Calculate Acceleration. Τότε του δίνεται η δυνατότητα να υπολογίσει την επιτάχυνση με τους 8 τρόπους που αναλύθηκαν στο Κεφάλαιο 3 και μια 9^η επιλογή, αυτής του υπολογισμού της στιγμιαίας επιτάχυνσης.

Η επιλογή της πρώτης μεθόδου (των smoothing splines) εμφανίζει στον χρήστη ένα figure που περιέχει ένα πίνακα. Ο πίνακας αυτός περιέχει τα εξής δεδομένα ανά στήλη:

Η πρώτη στήλη περιέχει τα διακριτά σημεία του χρόνου. Οι υπόλοιπες στήλες περιέχουν τις τιμές της επιτάχυνσης κάθε marker στους άξονες X, Y, Z. Η παρακάτω εικόνα δείχνει ένα μέρος του εμφανιζόμενου πίνακα.

Figure 2

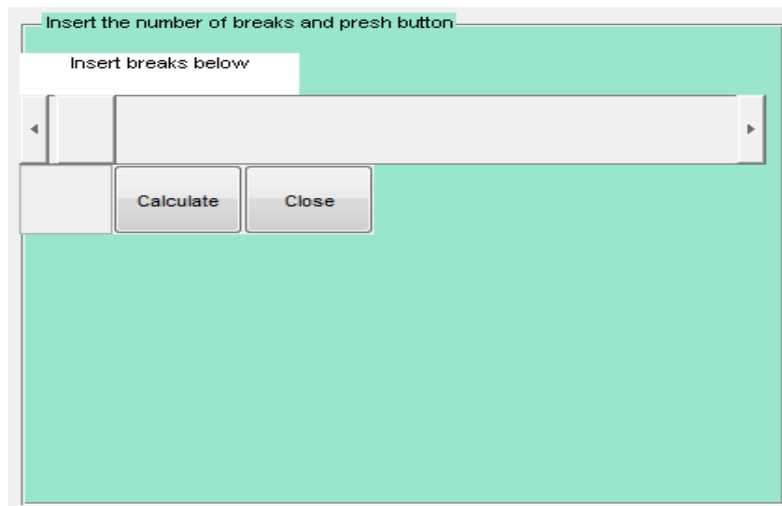
	time	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2	X3
1	0	-0.0026	0	-3.1471e-04	0	-0.0051	0	-0.0026
2	0.0083	1.2617	-0.1854	7.2215	-5.0571	1.8230	-1.4765	-5.4408
3	0.0167	-4.0272	3.8109	6.9439	-0.9598	1.5656	-2.7409	1.0892
4	0.0250	3.2779	-1.7098	-3.9061	-1.2829	2.7603	-1.9871	3.9319
5	0.0333	3.9165	-0.0721	-0.6444	0.9025	2.0702	0.8274	6.0433
6	0.0417	-4.8460	4.2538	10.4877	0.9740	1.9981	-0.0028	6.0047
7	0.0500	-2.2299	1.2772	5.3320	1.0338	2.8530	0.1748	5.6700
8	0.0583	4.6555	-3.1517	-5.8302	-0.6167	1.4419	1.7340	1.8951
9	0.0667	-2.5698	4.2435	5.9596	0.0895	1.1124	0.1067	-2.0574
10	0.0750	-3.1208	1.6171	2.8137	1.2482	1.1536	-0.4590	2.3509
11	0.0833	2.5492	-5.7987	-9.5079	0.0978	0.8755	2.1192	4.0169
12	0.0917	-1.7870	1.3493	4.3413	-0.1114	0.9373	1.5498	2.2196
13	0.1000	-2.0059	0.9682	6.6188	0.9398	-0.0103	-0.5523	1.7690
14	0.1083	-0.6360	-2.3998	-0.6978	0.8935	-0.2884	1.0467	1.2591
15	0.1167	-0.8755	-2.8736	-0.1828	-0.1539	-0.8446	1.2875	3.1955
16	0.1250	-0.3321	-1.5965	2.7836	1.4375	-1.0197	1.4737	1.6067
17	0.1333	-0.8163	-0.9064	1.6239	-2.2325	-1.4316	-5.5565	-2.2608
18	0.1417	-0.3630	-3.7800	-2.9166	-2.3399	-0.6592	-4.2051	-2.7603
19	0.1500	0.0386	-2.3483	-0.3272	5.4910	0.5665	10.0231	-2.7938
20	0.1583	-0.0154	-2.0908	-0.8843	2.9438	-2.1733	4.2967	-0.8703
21	0.1667	0.4660	-2.4616	-3.1159	-0.6753	-2.2762	-2.7710	0.4274
22	0.1750	0.9965	-2.2659	-2.8322	1.2984	-1.4832	0.2605	-2.4101
23	0.1833	1.6659	-3.2135	-2.7959	0.6180	-2.3792	0.4013	-1.8385
24	0.1917	2.1784	-2.5131	-1.7340	0.1899	-1.2257	2.1621	0.4506
25	0.2000	0.7905	-2.3380	-4.4638	1.1304	-0.7004	2.9723	-0.5330
26	0.2083	1.5913	-2.8324	-2.3874	0.9463	-1.9158	1.1205	-2.8659
27	0.2167	2.2633	-2.5234	-0.7540	0.9891	-2.0290	1.9385	-4.7997
28	0.2250	0.0077	-2.7294	-3.5016	0.3528	-1.7716	2.4723	1.0583
29	0.2333	1.1407	-2.8943	-1.8619	-0.1764	-3.2341	0.9549	1.1278
30	0.2417	2.3200	-2.5131	-0.6872	0.8085	-3.6152	1.4887	-6.1077

Εικόνα 6.3-2 Πίνακας με τις τιμές της επιτάχυνσης υπολογισμένες από την μέθοδο Smoothing Splines

Επιλέγοντας την δεύτερη επιλογή (Cubic Splines) όπως και με την πρώτη επιλογή εμφανίζεται ένα figure που περιέχει ένα πίνακα ίδιας μορφής με τον παραπάνω.

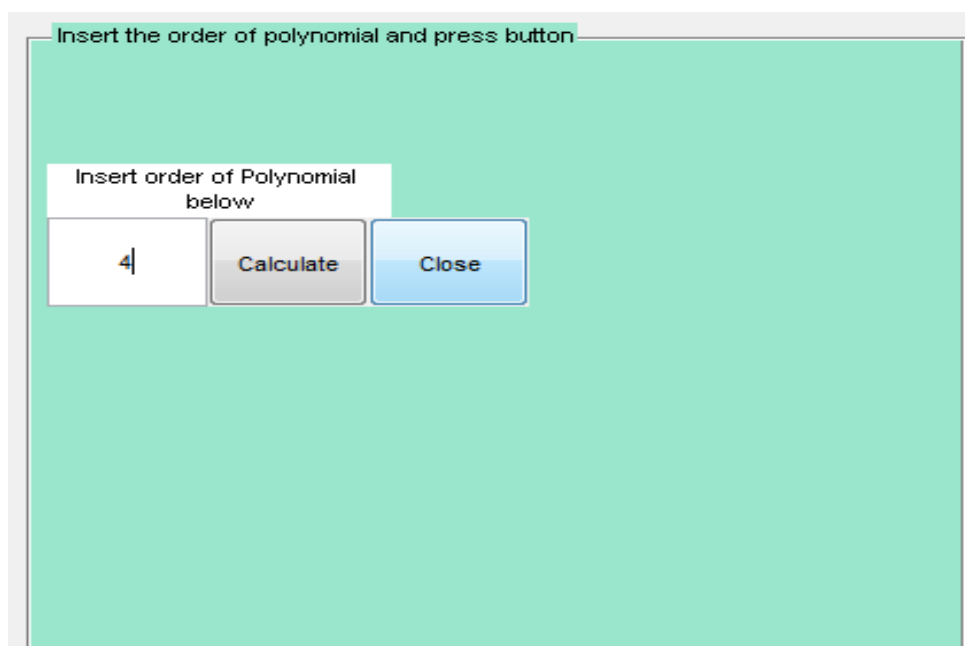
Επιλέγοντας την τρίτη επιλογή από το menu Calculate Acceleration (PCHIP) εμφανίζεται ένα τρίτο figure που περιέχει ένα πίνακα ίδιας μορφής με τους δύο προηγούμενους.

Αν ο χρήστης επιλέξει την μέθοδο Linear Interpolation, τότε του παρέχεται η δυνατότητα μέσω ενός slider και ενός edit box που περιέχει την τιμή του slider να επιλέξει τον αριθμό των διακριτών σημείων του χρόνου (breaks) παράγοντας διαφορετικά αποτελέσματα κάθε φορά. Εδώ ο χρήστης μπορεί να δοκιμάσει διάφορες τιμές για την τιμή των breaks και τελικά να αποφασίσει ο ίδιος ποια τιμή εξάγει τα σωστότερα αποτελέσματα. Η παρακάτω εικόνα δείχνει τις δυνατότητες αυτής της μεθόδου.



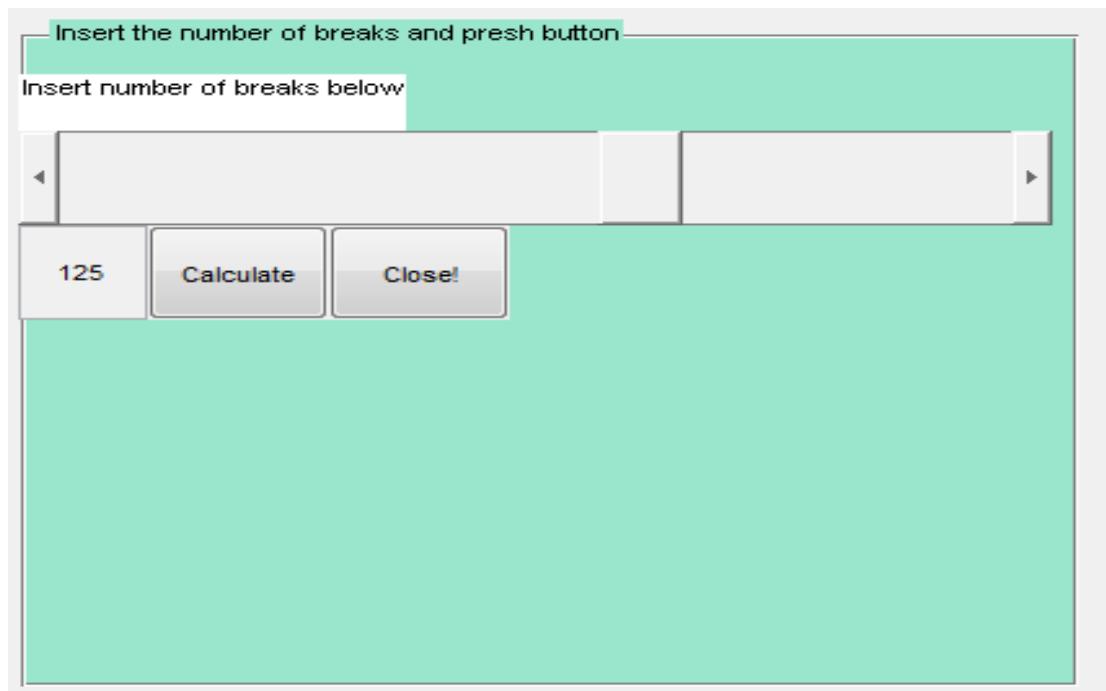
Εικόνα 6.3-3 Χρήση του slider για επιλογή του αριθμού των breaks

Αν ο χρήστης επιλέξει να υπολογίσει την επιτάχυνση με την μέθοδο Polynomial Curve fitting, του δίνεται η δυνατότητα μέσω ενός edit text να επιλέξει τον βαθμό του πολυωνύμου που θα υπολογιστεί. Αν ο χρήστης επιλέξει βαθμό μεγαλύτερο ή ίσο των σημείων του χρόνου τότε γίνεται αυτόματα επιλογή της μέγιστης δυνατής τιμής.



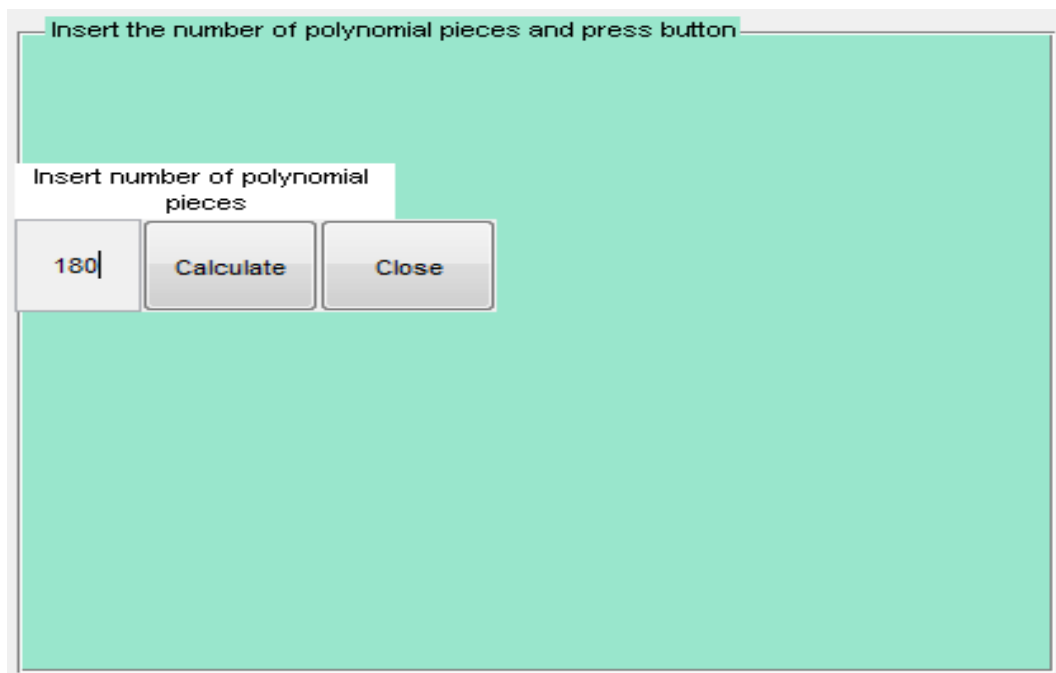
Εικόνα 6.3-4 Χρήση του edit box για απόδοση τιμής στον βαθμό του πολυωνύμου

Αν ο χρήστης επιλέξει την επιλογή Least-Squares Approximation by cubic splines τότε μέσω ενός slider του δίνεται η δυνατότητα να επιλέξει το break sequence στα δεδομένα.



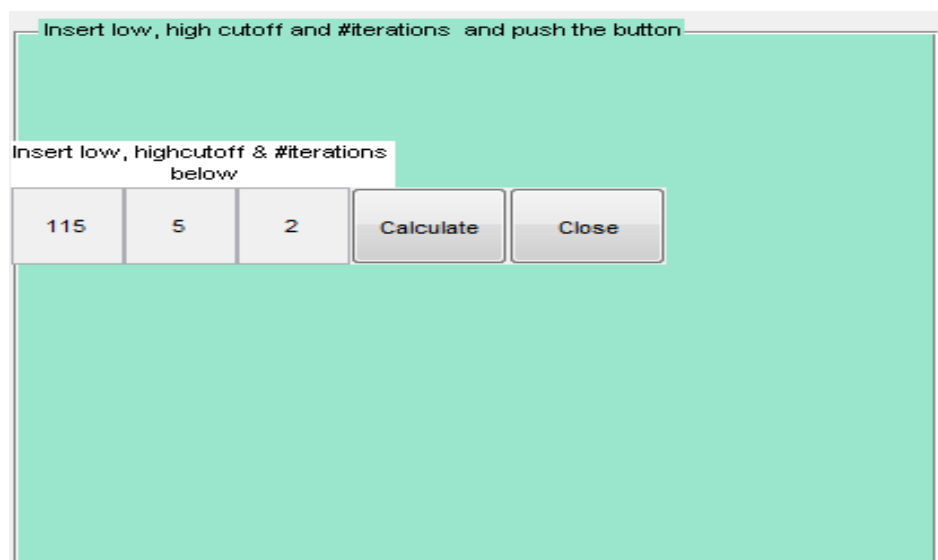
Εικόνα 6.3-5 Χρήση του slider για απόδοση κατάλληλης τιμής στο break sequence στα δεδομένα (t, x)

Αν ο χρήστης επιλέξει την Least-Square επιλογή, τότε του δίνεται η δυνατότητα να επιλέξει μέσω ενός edit text τον αριθμό των τμηματικών πολυωνύμων που θα παραχθούν. Αν ο χρήστης επιλέξει τιμή $l > \text{length}(\text{time}) - k + 1$, τότε επιλέγεται αυτόματα για τον χρήστη η μέγιστη δυνατή τιμή.



Εικόνα 6.3-6 Χρήση του edit box για εισαγωγή του πλήθους των τμηματικών πολυωνύμων

Αν ο χρήστης επιλέξει να υπολογίσει την επιτάχυνση με την μέθοδο του adaptive Butterworth, τότε μέσω τριών edit texts του δίνεται η δυνατότητα να επιλέξει το low cutoff, το high cutoff και τον αριθμό των επαναλήψεων που επιθυμεί για το φιλτράρισμα των δεδομένων.

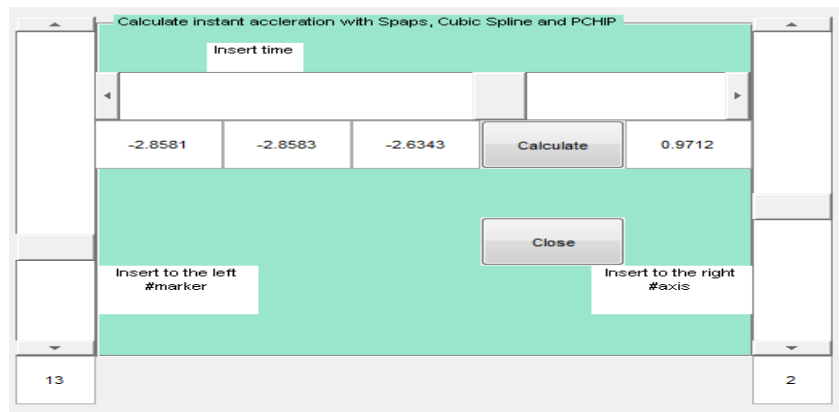


Εικόνα 6.3-7 Χρήση τριών edit texts για την επιλογή του low cutoff, του high cutoff και των αριθμών επαναλήψεων φιλτραρίσματος.

6.4 Υπολογισμός Στιγμιαίας Επιτάχυνσης

Τέλος η τελευταία επιλογή του menu Calculate Acceleration είναι ο υπολογισμός της στιγμιαίας επιτάχυνσης. Η στιγμιαία επιτάχυνση ενός marker (επιλογής χρήστη) υπολογίζεται συναρτήσει του χρόνου και της θέσεως του στον τρισδιάστατο χώρο. Εδώ δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να υπολογίσει την επιτάχυνση σε ένα χρονικό σημείο του πειράματος με τις εξής μεθόδους: με Smoothing Splines, με Cubic Splines και με PCHIP.

Ένας slider προσφέρεται για να δοθεί η χρονική στιγμή που υπολογισμού της επιτάχυνσης. Ακόμα δύο sliders χρησιμοποιούνται για την εισαγωγή του αριθμού του marker και του άξονα.

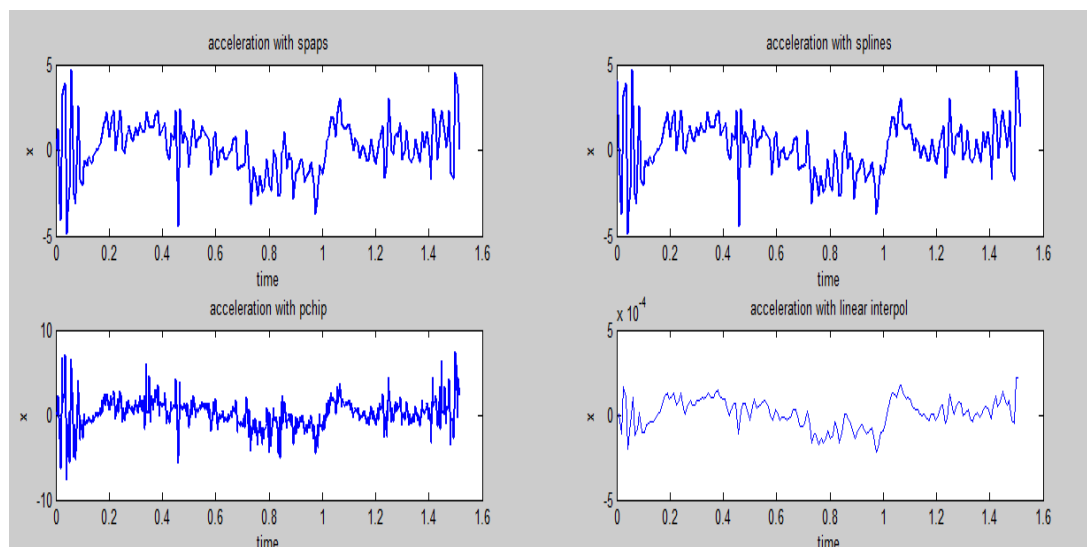


Εικόνα 6.4-1 Χρήση των τριών sliders για απόδοση τιμών στο χρόνο, στο id του marker και στον άξονα

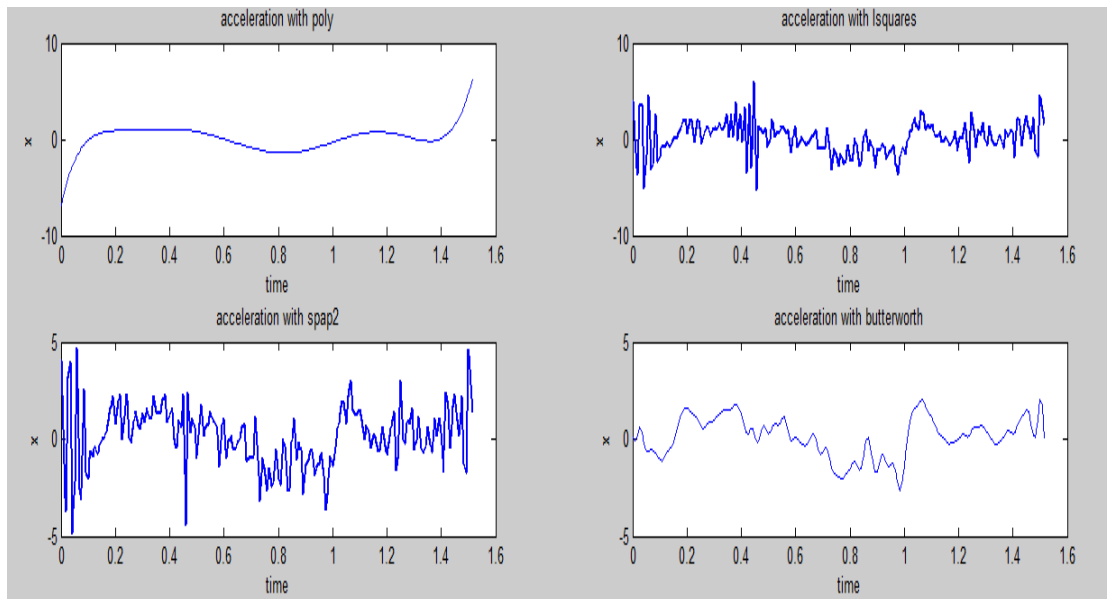
6.5 Δημιουργία Γραφικών Παραστάσεων

Ο υπολογισμός της στιγμιαίας επιτάχυνσης είναι το τελευταίο υπομενού του menu Calculate Acceleration. Από εκεί και πέρα ο χρήστης έχει την δυνατότητα να μελετήσει τις γραφικές παραστάσεις των επιταχύνσεων που υπολόγισε επιλέγοντας το menu Plot Accelerations -> With all methods. Κάνοντας χρήση αυτής της επιλογής εμφανίζεται ένα figure με τις γραφικές παραστάσεις της επιτάχυνσης, που υπολογίστηκε από τις υλοποιημένες μεθόδους, σε συνάρτηση με τον χρόνο.

Υπολογίσαμε την επιτάχυνση με όλες τις δυνατές μεθόδους του APA και σχεδιάσαμε τις γραφικές παραστάσεις τους. Στην παρακάτω εικόνα γίνεται ανάλυση των γραφικών παραστάσεων των επιταχύνσεων.



Εικόνα 6.5-1 Γραφικές παραστάσεις της επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τον χρόνο υπολογισμένες από τις τέσσερις πρώτους μεθόδους



Εικόνα 6.5-2 Γραφικές παραστάσεις της επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τον χρόνο υπολογισμένες από τις τέσσερις τελευταίες μεθόδους

Όπως παρατηρούμε από τις παραπάνω εικόνες οι γραφικές παραστάσεις της επιτάχυνσης για τις μεθόδους: Smoothing Splines, Cubic Splines, PCHIP αλλά και spap2(επιλέγοντας κατάλληλο αριθμό τμηματικών πολωνύμων) είναι σχεδόν όμοιες.

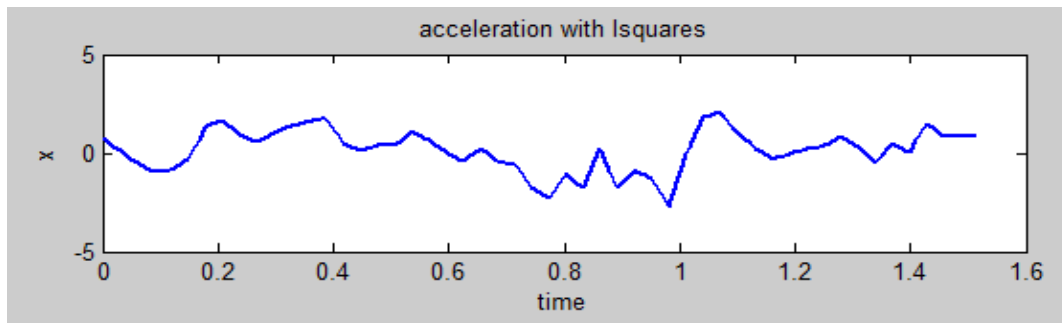
Η μορφή των γραφικών παραστάσεων της μεθόδου Polynomial Curve Fitting εξαρτάται πλήρως από τον βαθμό του πολωνύμου που εισάγει ο χρήστης.

Παρατηρώντας την γραφική παράσταση της μεθόδου adaptive Butterworth γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι τα αρχικά δεδομένα έχουν φιλτραριστεί με συνέπεια την μείωση του θορύβου. Αυτή η μέθοδος μπορεί να προσφέρει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα εισάγοντας τις κατάλληλες τιμές για το low cutoff, το high cutoff και τον αριθμό των επαναλήψεων του φιλτραρίσματος.

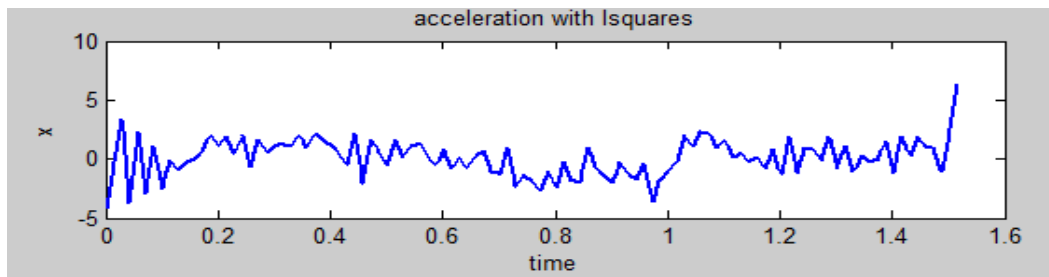
Επίσης συγκρίνοντας τις μεθόδους Linear Interpolation και Least Squares Approximation with Cubic Splines, με τις υπόλοιπες μεθόδους παρατηρούμε την ικανοποιητική παραγωγή αποτελεσμάτων.

Περίληπτικά και οι οχτώ μέθοδοι είναι ικανές να παράγουν αξιόπιστα δεδομένα επιταχύνσεως. Όμως στις περισσότερες μεθόδους αυτό εξαρτάται από τις τιμές που θα εισάγουμε στις παραμέτρους των συναρτήσεων υπολογισμού της επιτάχυνσης. Ο χρήστης του APA έχει την δυνατότητα να πειραματιστεί με τους υπολογισμούς, επιλέγοντας για κάθε μέθοδο τις κατάλληλες τιμές για τις παραμέτρους που έχει το δικαίωμα να τροποποιήσει.

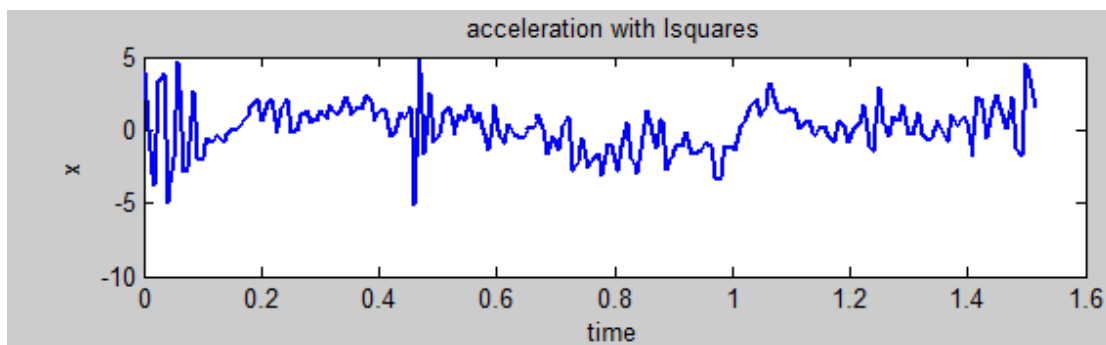
Παρακάτω υπολογίζεται η επιτάχυνση με την μέθοδο Least Squares Approximation by Cubic Splines εισάγοντας κάθε φορά διαφορετικό break sequence.



Εικόνα 6.5-3 Η επιτάχυνση στον άξονα X σε συνάρτηση με το χρόνο υπολογισμένη με #breaks=52



Εικόνα 6.5-4 Η επιτάχυνση στον άξονα X σε συνάρτηση με το χρόνο υπολογισμένη με #breaks=107

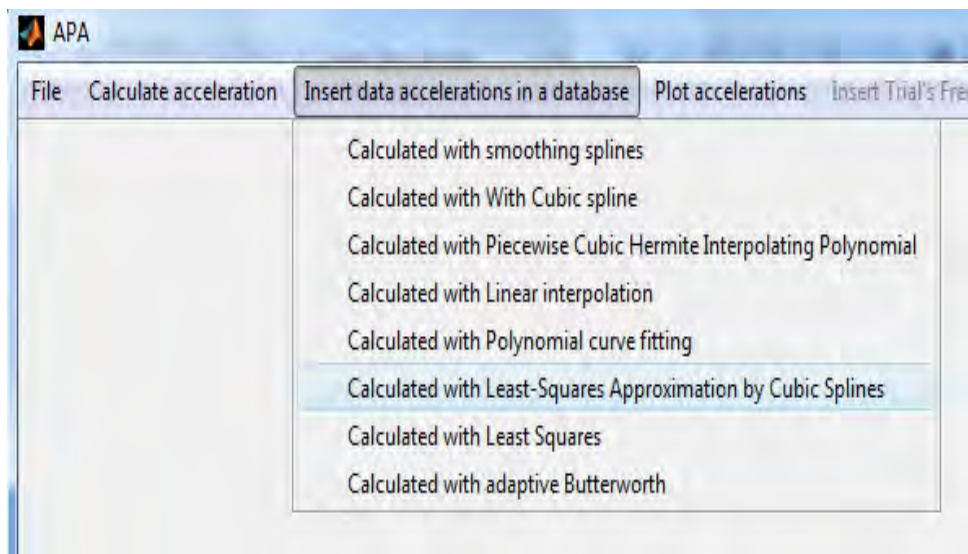


Εικόνα 6.5-5 Η επιτάχυνση στον άξονα X σε συνάρτηση με το χρόνο υπολογισμένη με #breaks=182

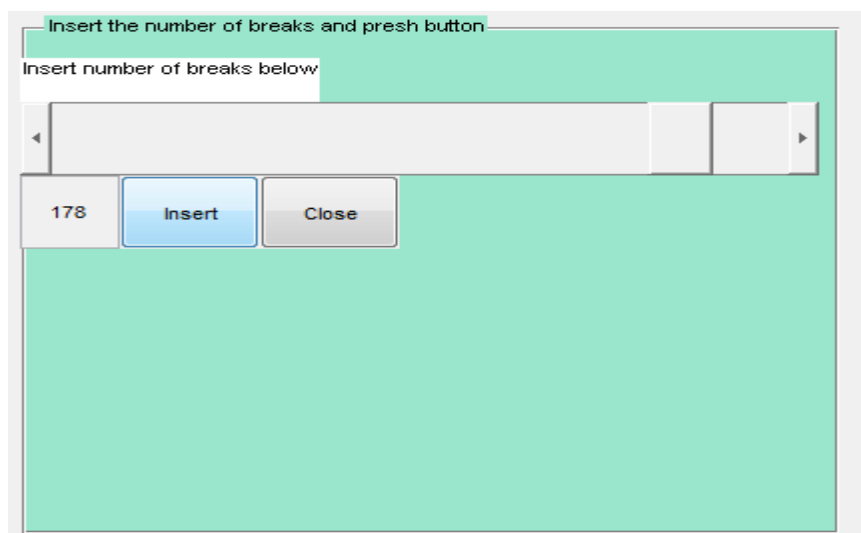
Παρατηρώντας και τις τρεις γραφικές παραστάσεις βλέπουμε την διαφορά των αποτελεσμάτων. Έτσι συνειδητοποιούμε πόσο σημαντική είναι η απόδοση κατάλληλων τιμών στις διάφορες μεθόδους υπολογισμών της επιτάχυνσης.

6.6 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων

Όπως έχουμε αναφέρει ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κάνει εισαγωγή των αποτελεσμάτων υπολογισμού σε μια βάση δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται κάνοντας χρήση της επιλογής Insert data accelerations in a database. Εδώ ο χρήστης έχει ξανά την δυνατότητα να αποδώσει τιμές στις διάφορες παραμέτρους των μεθόδων υπολογισμού της επιτάχυνσης και να δημιουργήσει tables που περιέχουν αυτά τα δεδομένα. Παραδείγματος χάριν αν ο χρήστης επιλέξει να δημιουργήσει ένα table με τις τιμές της επιτάχυνσης στα διακριτά σημεία του χρόνου του πειράματος, υπολογισμένες από την μέθοδο Least Squares Approximation by Cubic Splines έχει την δυνατότητα να αποδώσει κατάλληλη τιμή στον αριθμό των breaks για τον υπολογισμό και έπειτα να δημιουργήσει το table. Οι εικόνες παρακάτω εξηγούν την διαδικασία.



6.6-1 Επιλογή της μεθόδου υπολογισμού για εισαγωγή στην βάση δεδομένων



6.6-2 Απόδοση τιμής στον αριθμό των breaks για εισαγωγή στην βάση δεδομένων

	FRAMES	key_trial	Min	Max	TIME	ACCX1	ACCY1	ACCZ1	ACCX2	ACCY2	ACCZ2	ACCX3
▶	1	1	-97.613	34.6153	0	3.15578	-1.56883	6.16879	-5.24339	1.13933	-0.0873284	-7.34549
	2	1	-71.8498	18.2026	0.00833333	0.213103	0.535422	5.98692	-3.48719	1.46941	-1.39728	-3.43093
	3	1	-46.0868	38.702	0.0166667	-2.72961	2.63968	5.80524	-1.73098	1.79952	-2.70717	0.483677
	4	1	-31.6937	17.2486	0.025	2.76021	-0.768518	-2.19741	-0.734523	2.45953	-1.49842	3.94272
	5	1	-28.119	10.4537	0.0333333	2.32825	0.217834	0.430695	0.39101	2.19895	0.121648	5.66856
	6	1	-30.7983	30.7415	0.0416667	-2.99503	3.35467	8.28611	1.17653	2.08133	0.347961	6.03557
	7	1	-17.0494	29.4176	0.05	-2.29388	1.24276	5.12608	0.716989	2.61846	0.13391	5.26139
	8	1	-16.4332	22.6166	0.0583333	4.002	-2.45697	-4.52119	-0.349566	1.54979	1.62338	1.99726
	9	1	-18.8699	17.1132	0.0666667	-2.626	4.24261	5.89406	0.0339437	1.12881	0.109525	-2.09187
	10	1	-16.8323	48.6074	0.075	-2.41886	0.888784	1.60585	1.09997	1.08399	-0.311214	2.38301
	11	1	-41.1409	27.1751	0.0833333	1.31432	-3.92733	-6.41587	0.174436	0.994315	1.99241	3.42926
	12	1	-33.408	14.3221	0.0916667	-1.13064	0.163263	2.77407	0.0517416	0.712571	1.1101	2.58008
	13	1	-18.7079	18.4934	0.1	-1.99337	0.887924	5.57053	0.798869	0.150714	0.163222	1.5643
	14	1	-16.1344	44.6898	0.108333	-0.6359	-2.33195	0.108406	0.787286	-0.403069	0.664883	1.73236
	15	1	-12.093	17.2623	0.116667	-0.948729	-2.4574	0.136058	0.0901916	-0.726181	1.39208	2.64877

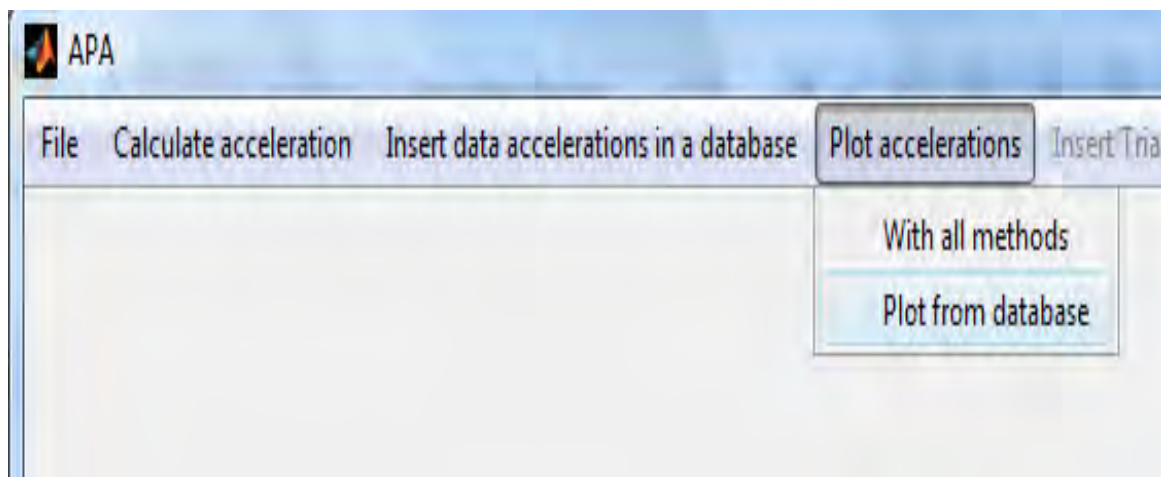
6.6-3 Τμήμα του πίνακα acc_ls_test.c3d στην βάση δεδομένων Workspace

6.7 Επεξεργασία των Αποθηκευμένων Δεδομένων

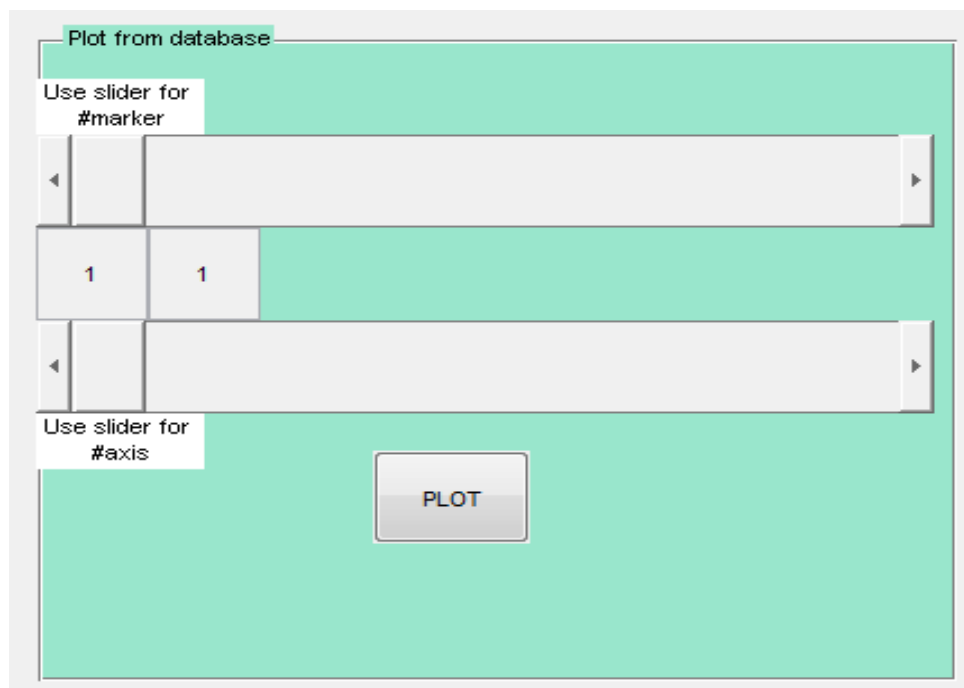
Το λογισμικό APA δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να κάνει χρήση των ήδη αποθηκευμένων αποτελεσμάτων σε μια βάση δεδομένων. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει γραφικές παραστάσεις με χρήση των αποθηκευμένων αποτελεσμάτων στην βάση δεδομένων επιλέγοντας το id του marker και τον άξονα.

Έτσι δημιουργείται ένα figure με όλες τις γραφικές παραστάσεις με δεδομένα από όλους τους πίνακες που υπάρχουν για το συγκεκριμένο αρχείο. Αν για παράδειγμα ένας χρήστης έχει δημιουργήσει πίνακες με δεδομένα επιτάχυνσης με όλες τις δυνατές μεθόδους τότε θα δημιουργηθούν οχτώ διαφορετικές γραφικές παραστάσεις, κάθε μια για κάθε μέθοδο.

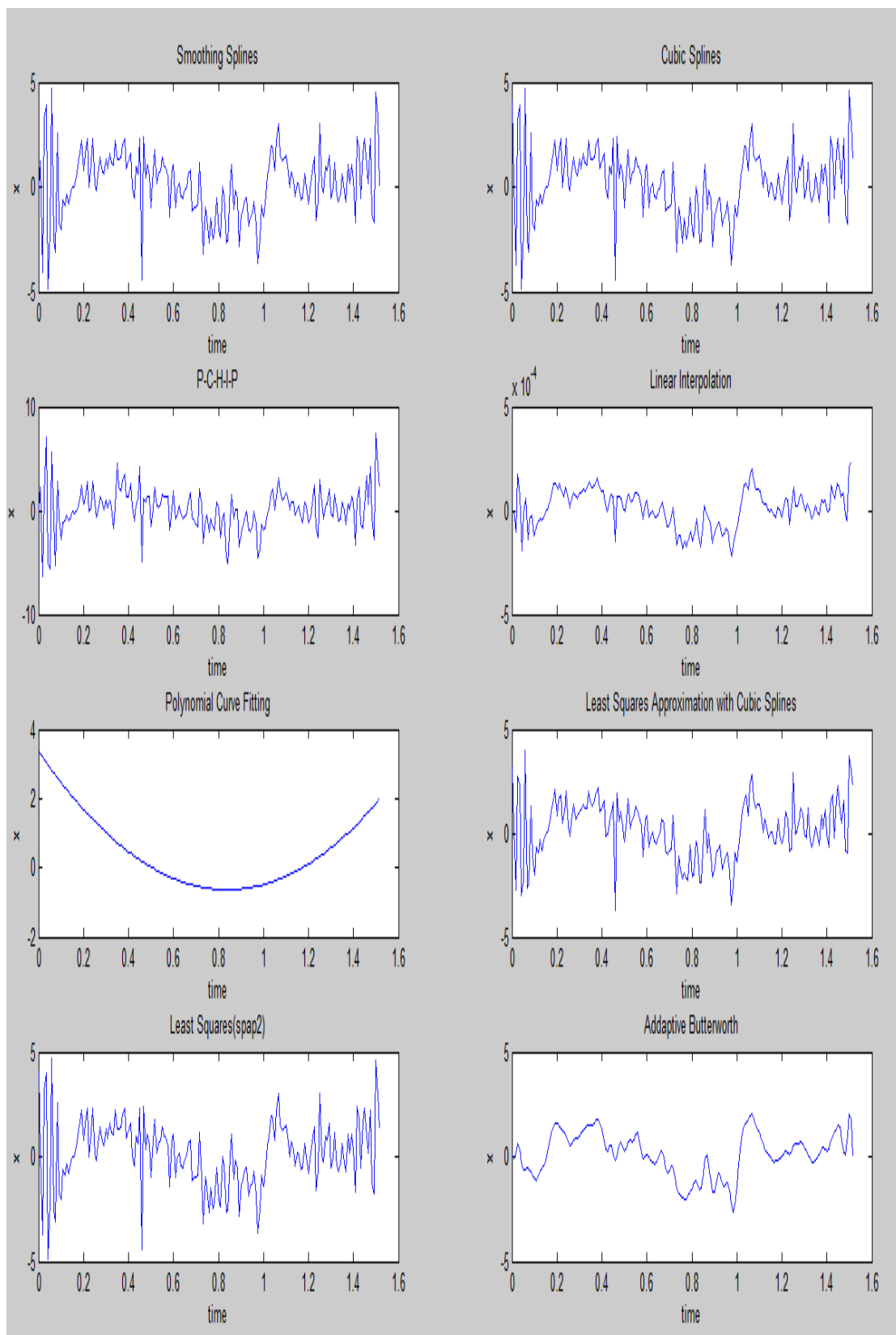
Οι παρακάτω εικόνες εξηγούν την διαδικασία δημιουργίας γραφικών παραστάσεων από δεδομένα της βάσης δεδομένων Workspace.



6.7-1 Επιλογή δημιουργίας γραφικών παραστάσεων από δεδομένα της βάσης δεδομένων Workspace



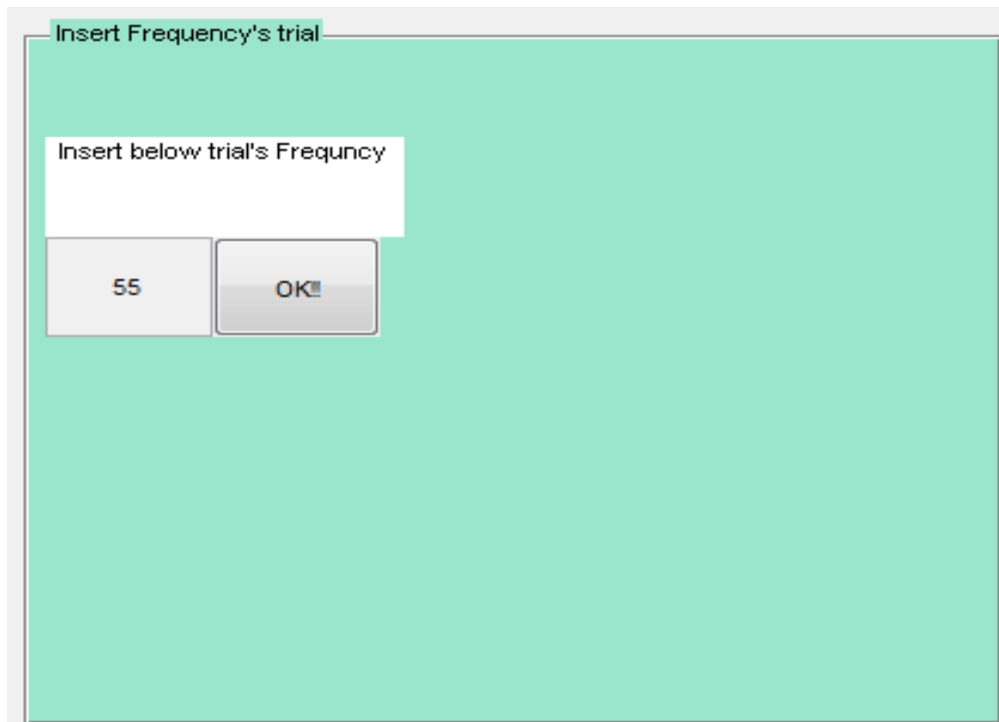
6.7-2 Χρήση των sliders για επιλογή του id του marker και του άξονα



6.7-3 Γραφικές παραστάσεις της επιτάχυνσης από όλους τους πίνακες για ένα συγκεκριμένο αρχείο

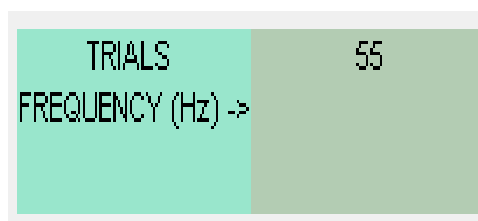
6.8 Άνοιγμα .txt αρχείων

Το λογισμικό APA ,όπως αναφέρθηκε παραπάνω, επεξεργάζεται και txt αρχεία. Αυτά τα αρχεία περιέχουν δεδομένα επιτάχυνσης. Ο χρήστης ανοίγοντας ένα αρχείο txt File-> Open a txt file μπορεί να αποδώσει τιμή για την συχνότητα του πειράματος που μόνο αυτός γνωρίζει. Η default τιμή για την συχνότητα είναι 55 Hz.



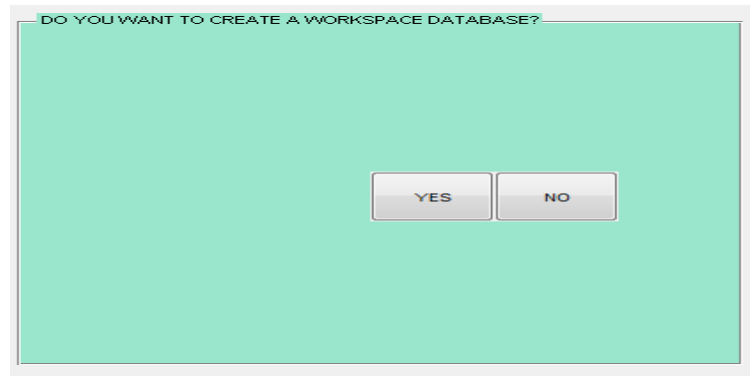
6.8-1 Εισαγωγή συχνότητας του πειράματος μέσω ενός edit box

Έπειτα αν ο χρήστης δεν έχει δημιουργήσει βάση δεδομένων για το συγκεκριμένο αρχείο που ανοίχτηκε του γίνεται μια ερώτηση για το αν επιθυμεί την δημιουργία της.



6.8-2 Εμφάνιση της συχνότητας του πειράματος

6.9 Δημιουργία Βάσης Δεδομένων



6.9-1 Ερώτηση για την δημιουργία βάσης δεδομένων για το συγκεκριμένο αρχείο

Αν ο χρήστης επιλέξει την δημιουργία βάσεως δεδομένων τότε γίνεται μια εγγραφή στον αρχικό πίνακα trials. Έτσι αν ο χρήστης ανοίξει το αρχείο trial2.txt._matlab ο πίνακας trials τροποποιείται όπως φαίνεται στην εικόνα 6.9-2.

	id	experiment	fname	input
▶	1	1	test.c3d	c3d
	2	2	trial2.txt._matlab	txt

6.9-2 Ο πίνακας trials μετά το άνοιγμα του αρχείου trial2.txt._matlab

Ένας δεύτερος κενός πίνακας δημιουργείται με όνομα property_ (το όνομα του αρχείου) ο οποίος χρησιμοποιείται αποκλειστικά με ευθύνη του χρήστη και θα περιγραφεί στην παράγραφο 6-14. Επίσης ένας τρίτος πίνακας δημιουργείται με όνομα initial_accel_trial2.txt._matlab. Αυτός ο πίνακας περιέχει τα αρχικά δεδομένα της επιτάχυνσεως καθώς και δύο στήλες με το μέγιστη και τη ελάχιστη τιμή της επιτάχυνσης σε κάθε χρονική στιγμή. Η εικόνα 6.9-3 δείχνει ένα μέρος του πίνακα initial_accel_trial2.txt._matlab.

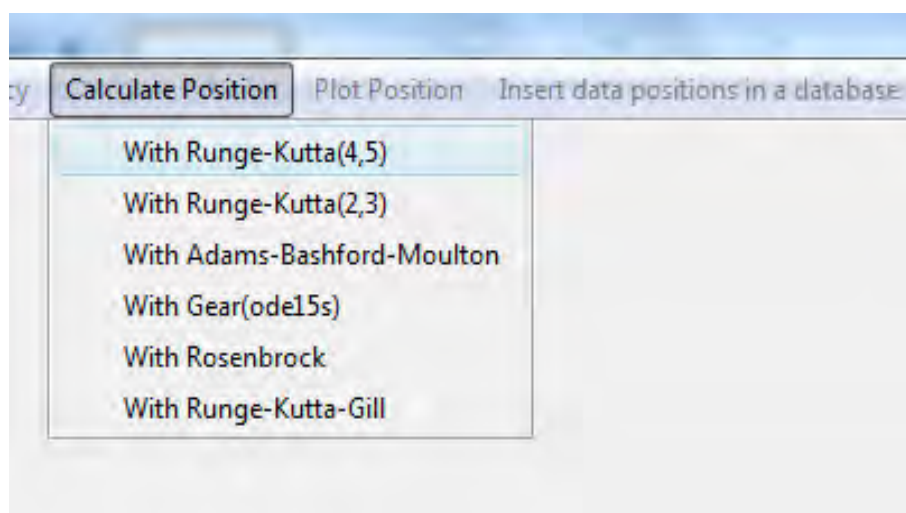
	FRAMES	key_trial	Min	Max	TIME	ACCX1	ACCY1	ACCZ1	ACCX2	ACCY2	ACCZ2
▶	1	1	-1.00747	0.763537	0.0181818	0.0957794	0.115135	0.763537	-1.00747	0.269977	-0.03003
	2	1	-1.00747	0.763537	0.0363636	0.0764241	0.192556	0.763537	-1.00747	0.308688	-0.000997091
	3	1	-1.00747	0.802248	0.0545455	0.105457	0.202233	0.802248	-1.00747	0.29901	-0.0397077
	4	1	-1.00747	0.83128	0.0727273	0.124812	0.202233	0.83128	-1.00747	0.260299	-0.0880959
	5	1	-0.968762	0.83128	0.0909091	0.153845	0.153845	0.83128	-0.968762	0.182878	-0.155839
	6	1	-0.930051	0.802248	0.109091	0.153845	0.124812	0.802248	-0.930051	0.182878	-0.233261
	7	1	-0.871985	0.763537	0.127273	0.153845	0.0764241	0.763537	-0.871985	0.182878	-0.242938
	8	1	-0.85263	0.744182	0.145455	0.13449	0.0570688	0.744182	-0.85263	0.202233	-0.262294
	9	1	-0.85263	0.744182	0.163636	0.0764241	0.0570688	0.744182	-0.85263	0.269977	-0.233261
	10	1	-0.85263	0.763537	0.181818	0.0667464	0.0764241	0.763537	-0.85263	0.269977	-0.233261
	11	1	-0.85263	0.773215	0.2	0.0667464	0.105457	0.773215	-0.85263	0.260299	-0.233261
	12	1	-0.85263	0.773215	0.218182	0.0764241	0.115135	0.773215	-0.85263	0.269977	-0.242938
	13	1	-0.871985	0.773215	0.236364	0.105457	0.13449	0.773215	-0.871985	0.269977	-0.242938
	14	1	-0.930051	0.763537	0.254545	0.115135	0.124812	0.763537	-0.930051	0.29901	-0.233261
	15	1	-0.930051	0.773215	0.272727	0.115135	0.124812	0.773215	-0.930051	0.231266	-0.233261
	16	1	-0.930051	0.753859	0.290909	0.115135	0.13449	0.753859	-0.930051	0.386109	-0.271971
	17	1	-0.968762	0.734504	0.309091	0.105457	0.144168	0.734504	-0.968762	0.444175	-0.262294

6.9-3 Μέρος του πίνακα initial_accel_trial2.txt, _matlab

6.10 Υπολογισμός Θέσης

Ένας χρήστης του APA ανοίγοντας ένα αρχείο txt έχει την δυνατότητα να υπολογίσει την θέση από τα αρχικά δεδομένα της επιτάχυνσης με έξι διαφορετικούς μεθόδους. Οι μέθοδοι υπολογισμού της θέσης περιγράφηκαν λεπτομερώς στο Κεφάλαιο 5.

Αν ο χρήστης επιλέξει να υπολογίσει την θέση με την μέθοδο Runge-Kutta(4,5) μπορεί να αποδώσει τιμές για τις αρχικές τιμές της θέσης που μόνο αυτός γνωρίζει. Οι παρακάτω εικόνες εξηγούν την διαδικασία.



6.10-1 Επιλογή της μεθόδου Runge-Kutta(4,5) για τον υπολογισμό της θέσης

Insert initial values for position and press button

Insert below initial values for position X

0	0	0
---	---	---

Insert below initial values for position Y

1	1	1
---	---	---

Insert below initial values for position Z

2	2	2
---	---	---

Calculate Close

6.10-2 Χρήση των 9 edit box για απόδοση τιμών στις αρχικές τιμές της θέσης σε κάθε άξονα των τριών markers

Όταν ο χρήστης αποδώσει τιμές για τις αρχικές τιμές της θέσεως σε κάθε marker για κάθε άξονα και ενεργοποιήσει το button Calculate, τότε εμφανίζεται ένας πίνακας με τα δεδομένα της θέσεως σε κάθε χρονική στιγμή του πειράματος. Η εικόνα 6.10-3 δείχνει ένα μέρος του πίνακα με τα δεδομένα θέσεως υπολογισμένα από την μέθοδο Runge-Kutta(4,5).

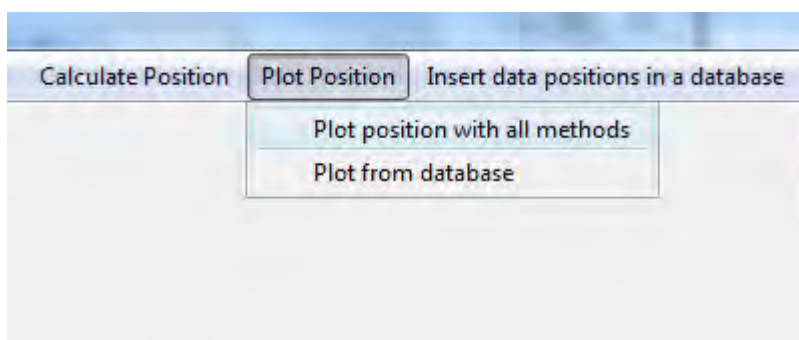
	time	X1	Y1	Z1	X2	Y2
1	0.0182	0	1	2	0	1
2	0.0364	1.3915e-04	1.0002	2.0012	-0.0016	1.0005
3	0.0545	5.4368e-04	1.0011	2.0050	-0.0065	1.0019
4	0.0727	0.0013	1.0026	2.0113	-0.0147	1.0043
5	0.0909	0.0024	1.0047	2.0203	-0.0261	1.0076
6	0.1091	0.0041	1.0073	2.0320	-0.0407	1.0114
7	0.1273	0.0062	1.0104	2.0462	-0.0583	1.0159
8	0.1455	0.0089	1.0136	2.0630	-0.0787	1.0209
9	0.1636	0.0119	1.0171	2.0822	-0.1019	1.0266
10	0.1818	0.0152	1.0208	2.1038	-0.1279	1.0331
11	0.2000	0.0188	1.0247	2.1279	-0.1566	1.0406
12	0.2182	0.0225	1.0290	2.1544	-0.1881	1.0488
13	0.2364	0.0265	1.0336	2.1835	-0.2223	1.0580
14	0.2545	0.0309	1.0386	2.2151	-0.2594	1.0680
15	0.2727	0.0356	1.0440	2.2492	-0.2995	1.0790
16	0.2909	0.0407	1.0498	2.2858	-0.3425	1.0907
17	0.3091	0.0461	1.0560	2.3249	-0.3885	1.1036
18	0.3273	0.0518	1.0627	2.3662	-0.4375	1.1180
19	0.3455	0.0578	1.0699	2.4100	-0.4896	1.1338
20	0.3636	0.0643	1.0778	2.4565	-0.5449	1.1510
21	0.3818	0.0713	1.0862	2.5060	-0.6036	1.1696

6.10-3 Μέρος του πίνακα με τις υπολογισμένες τιμές θέσεως από την μέθοδο Runge-Kutta(4,5) για το αρχείο trial2.txt_matalab

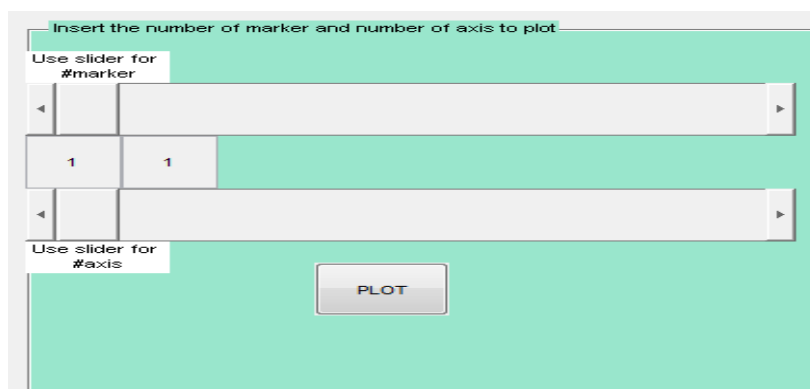
Η χρήση και των άλλων έξι μεθόδων γίνεται με τον ίδιο τρόπο που χρησιμοποιείται η μέθοδος Runge-Kutta(4,5). Δηλαδή ο χρήστης έχει την δυνατότητα και στις άλλες πέντε μεθόδους να αποδώσει αρχικές τιμές για την θέση των markers στους τρεις άξονες X, Y, Z και να εμφανίσει κάθε φορά ένα πίνακα με τις υπολογισμένες τιμές θέσεως.

6.11 Δημιουργία Γραφικών Παραστάσεων

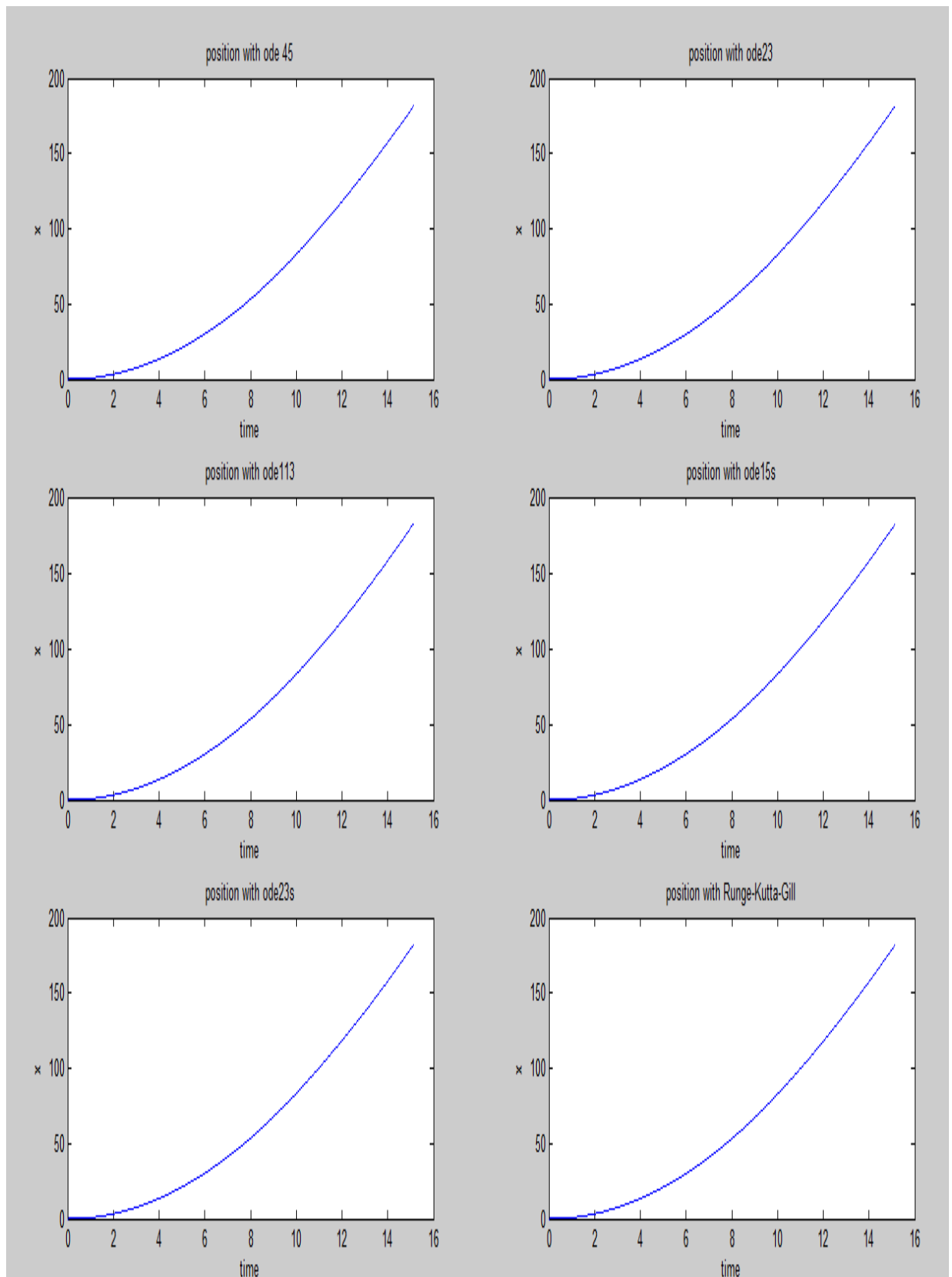
Επίσης ο χρήστης μέσω του menu Plot Position μπορεί να δημιουργήσει τις γραφικές παραστάσεις της θέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο για κάθε μέθοδο που χρησιμοποίησε. Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το id του marker αλλά και τον άξονα για τις γραφικές παραστάσεις που θα δημιουργηθούν. Οι εικόνες παρακάτω περιγράφουν την διαδικασία.



6.11-1 Επιλογή δημιουργίας γραφικών παραστάσεων της θέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο υπολογισμένες από τις μεθόδους που χρησιμοποιήθηκαν

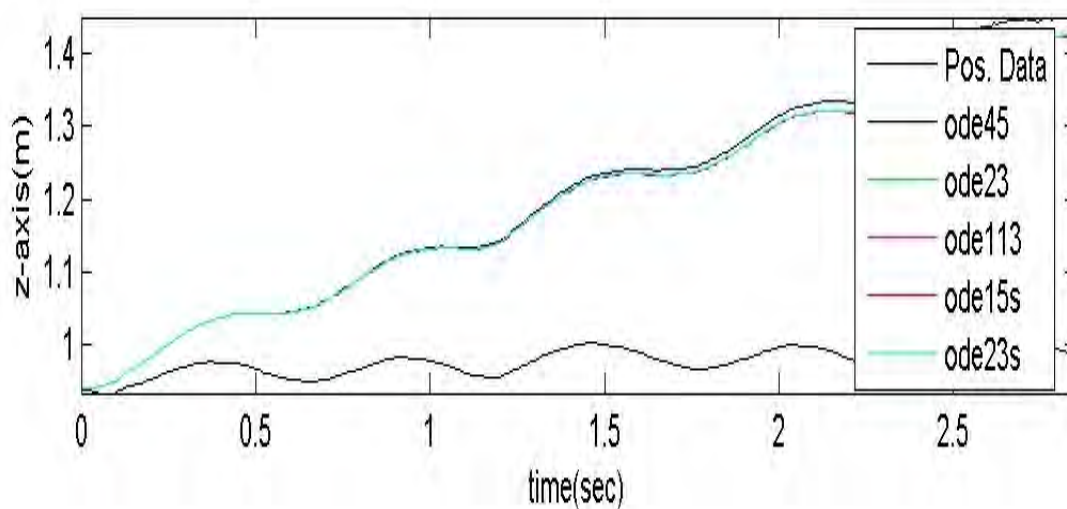


6.11-2 Χρήση των sliders για επιλογή του id του marker και του άξονα που θα αναπαρασταθεί στις γραφικές παραστάσεις



6.11-3 Γραφικές παραστάσεις της θέσης του πρώτου marker στον άξονα x υπολογισμένης από όλες τις δυνατές μεθόδους σε συνάρτηση με το χρόνο

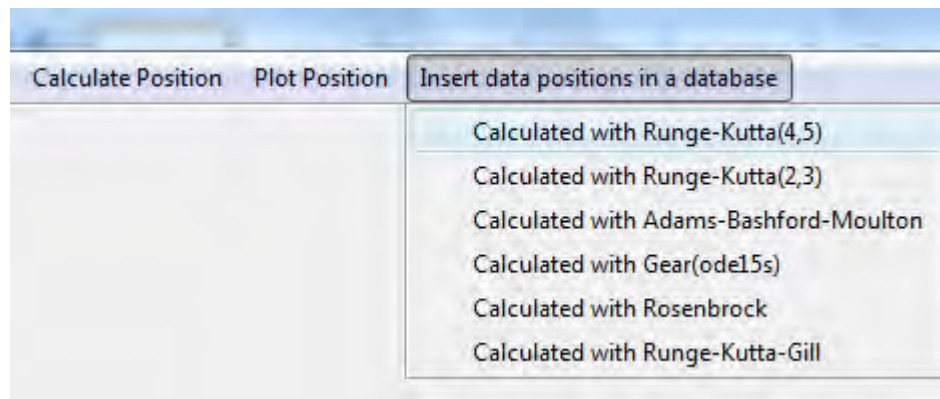
Όπως παρατηρούμε από την εικόνα 6.11-3 βλέπουμε ότι όλες οι γραφικές παραστάσεις της θέσης είναι παρόμοιες με μικρές διαφορές η μία με την άλλη. Σε ένα άλλο πείραμα που έχει πραγματοποιηθεί στο οποίο υπολογίζεται η θέση από δεδομένα επιτάχυνσης με τις συναρτήσεις ode45, ode23, ode113, ode15s και ode23s αλλά με γνωστές τις τιμές θέσεως σε κάθε χρονική στιγμή, παρατηρούμε την απόκλιση από τα αρχικά δεδομένα, πράγμα που δικαιολογείται από την ευαισθησία του προβλήματος και του πιθανού θορύβου που έχουν τα δεδομένα. Στην εικόνα 6.11-4 φαίνεται η απόκλιση των υπολογισμών από τα αρχικά δεδομένα [6].



6.11-4 Αρχικά δεδομένα θέσης (μαύρη γραμμή) και δεδομένα θέσης από λύση του προβλήματος των αρχικών τιμών ΣΔΕ με χρήση ode45, ode23, ode113, ode15s, ode23s

6.12 Εισαγωγή στη Βάση Δεδομένων

Όπως και στην ανάλυση των C3D αρχείων ο χρήστης μπορεί να κάνει εισαγωγή των υπολογιζόμενων αποτελεσμάτων στην βάση δεδομένων Workspace. Αυτή η δυνατότητα παρέχεται στο χρήστη μέσω του menu Insert data positions in a database. Ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει tables με δεδομένα θέσης υπολογιζόμενα με τις δυνατές μεθόδους που παρέχονται από το λογισμικό. Στις παρακάτω εικόνες δίνεται ένα παράδειγμα δημιουργίας ενός table με δεδομένα υπολογιζόμενα από την μέθοδο Runge-Kutta(4,5).



6.12-1 Δημιουργία table με δεδομένα υπολογιζόμενα από την μέθοδο Runge-Kutta(4,5)

Insert initial values for position and press button

Insert below initial values for position X

0	0	0
---	---	---

Insert below initial values for position Y

1	1	1
---	---	---

Insert below initial values for position Z

2	2	2
---	---	---

Insert Close

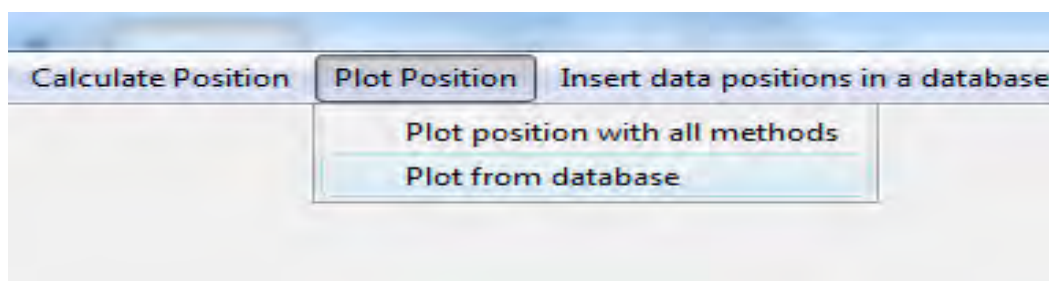
6.12-2 Απόδοση αρχικών τιμών θέσης για κάθε άξονα σε κάθε marker

	FRAMES	key_trial	Min	Max	TIME	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
▶	1	1	0	0	0.0181818	0	0	0	0	0	0
	2	1	-0.00163324	0.00123366	0.0363636	0.000139146	0.000235578	0.00123366	-0.00163324	0.000463297	-0.0000262953
	3	1	-0.00652879	0.00495623	0.0545455	0.000543677	0.00107124	0.00495623	-0.00652879	0.00191153	-0.0000782798
	4	1	-0.0146948	0.011275	0.0727273	0.00128321	0.0025657	0.011275	-0.0146948	0.00432756	-0.000258575
	5	1	-0.0261071	0.0202843	0.0909091	0.00243489	0.00469515	0.0202843	-0.0261071	0.00756722	-0.000729541
	6	1	-0.0406775	0.0319749	0.109091	0.00407322	0.00733622	0.0319749	-0.0406775	0.0114324	-0.00171284
	7	1	-0.0582511	0.0462644	0.127273	0.0062153	0.0103701	0.0462644	-0.0582511	0.0158827	-0.00342366
	8	1	-0.0786924	0.0630313	0.145455	0.00885324	0.0136625	0.0630313	-0.0786924	0.0209332	-0.0059344
	9	1	-0.101906	0.0822134	0.163636	0.0119015	0.0171432	0.0822134	-0.101906	0.0266805	-0.00927323
	10	1	-0.127892	0.103823	0.181818	0.0152208	0.0208207	0.103823	-0.127892	0.0332558	-0.0133827
	11	1	-0.156626	0.127888	0.2	0.0187567	0.0247468	0.127888	-0.156626	0.0407	-0.0182442
	12	1	-0.188098	0.154454	0.218182	0.0225105	0.0289827	0.154454	-0.188098	0.048994	-0.0238698
	13	1	-0.222337	0.183556	0.236364	0.0265225	0.0335923	0.183556	-0.222337	0.0581728	-0.030276
	14	1	-0.259417	0.215151	0.254545	0.0308669	0.0386112	0.215151	-0.259417	0.0682686	-0.0374618

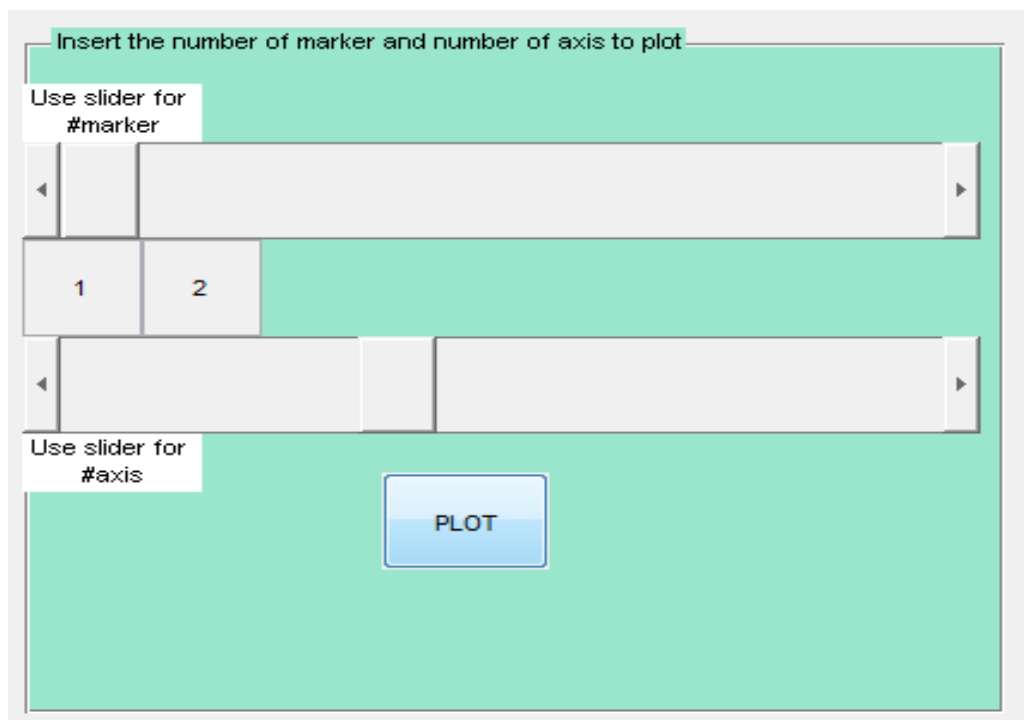
6.12-3 Μέρος του πίνακα pos_ode45_trial2.txt_matlab που δημιουργήθηκε

6.13 Επεξεργασία των Αποθηκευμένων Δεδομένων της Βάσης

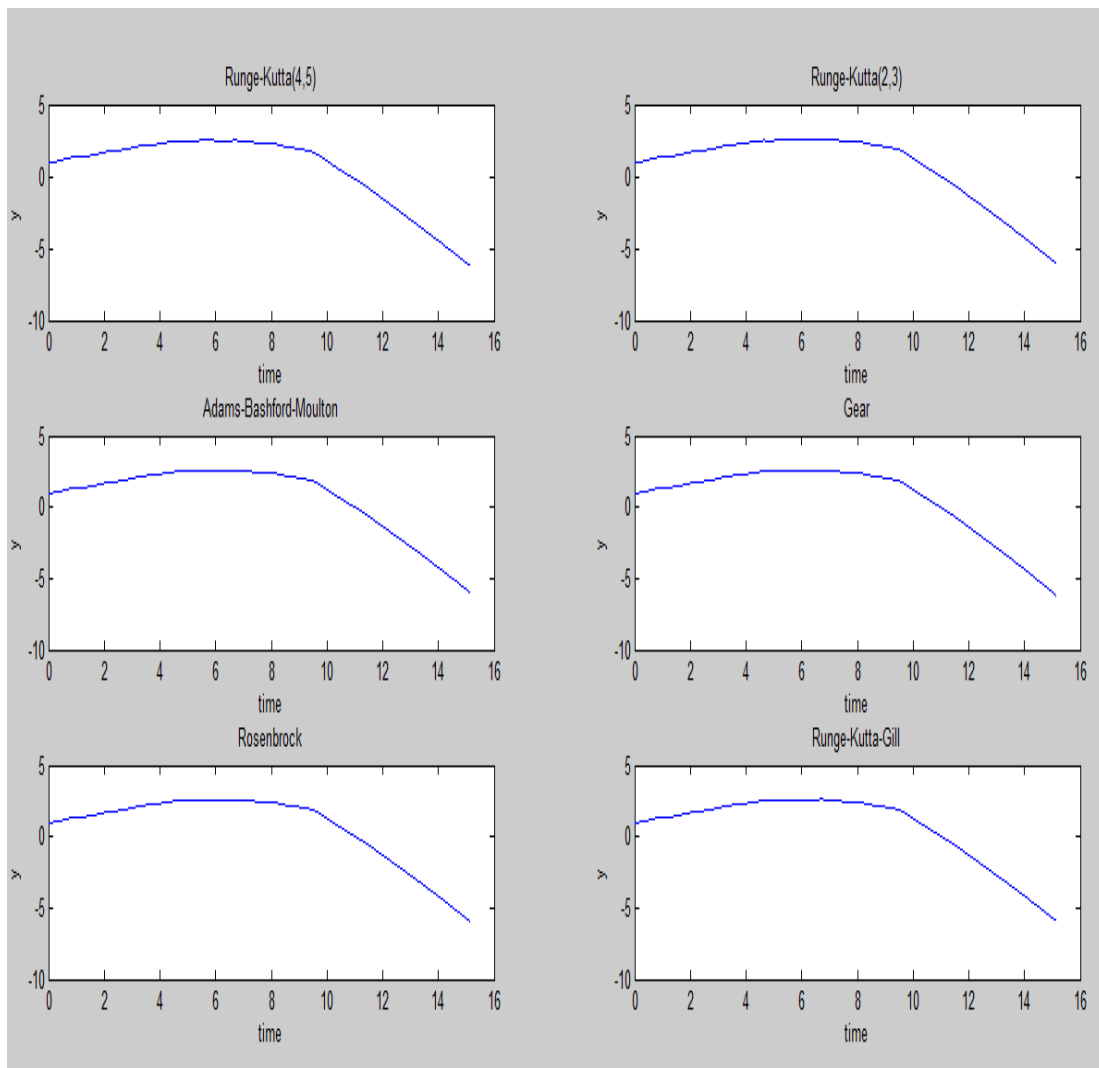
Ο χρήστης εκτός από την δυνατότητα εισαγωγής των υπολογιζόμενων δεδομένων στην βάση δεδομένων μπορεί να αξιοποιήσει τα αποθηκευμένα δεδομένα στην βάση δημιουργώντας τις γραφικές παραστάσεις της θέσης σε συνάρτηση με τον χρόνο. Έτσι αν ο χρήστης έχει ανοίξει ένα αρχείο από το οποίο έχει ήδη δημιουργήσει tables με δεδομένα θέσεως με όλους τους δυνατούς μεθόδους τότε μπορεί να δημιουργήσει τις γραφικές παραστάσεις αυτών επιλέγοντας τον άξονα και το id του marker που επιθυμεί να αναπαρασταθεί στην γραφική παράσταση. Οι παρακάτω εικόνες περιγράφουν την διαδικασία δημιουργίας γραφικών παραστάσεων από αποθηκευμένα δεδομένα στην βάση δεδομένων.



6.13-1 Επιλογή δημιουργίας γραφικών παραστάσεων από αποθηκευμένα δεδομένα στην βάση δεδομένων Workspace



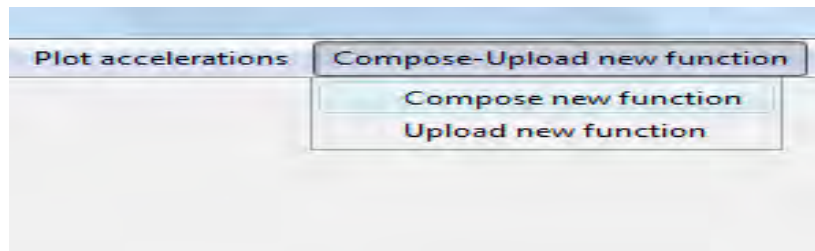
6.13-2 Επιλογή του άξονα και του id του marker



6.13-3 Γραφικές παραστάσεις της θέσης, υπολογιζόμενης από τις έξι δυνατές μεθόδους, του 1ου marker στον άξονα Y σε συνάρτηση με τον χρόνο⁴

6.14 Δημιουργία και Χρήση Συνάρτησης από τον χρήστη

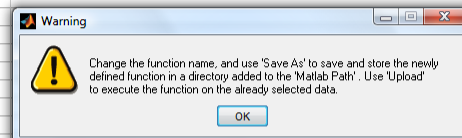
Εκτός από όλες αυτές τις δυνατότητες που περιγράφηκαν λεπτομερώς παραπάνω, το λογισμικό APA δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να συνθέσει μια δική του συνάρτηση, που θα υπολογίζει την επιτάχυνση, στα πρότυπα των μεθόδων του λογισμικού APA. Έτσι όταν ο χρήστης επιλέξει να συνθέσει μια δική του συνάρτηση τότε ανοίγει ένα πρότυπο με οδηγίες για το πως πρέπει να συνθέσει την συνάρτηση. Οι παρακάτω εικόνες περιγράφουν την διαδικασία.



6.14-1 Επιλογή σύνθεσης μιας νέας συνάρτησης

```
function datan=newfunction(E,EE)

%% datan.new_fun acc=data acceleration with new function;
%% datan.new_fun time=calculated time;
%%
%% The user is responsible for the usage of this function
%% t= time of the trial
%% ft=position data
%% ft is a table with initial data of position
%% each three columns contains position data of a marker in axis X, Y, Z
%% for example:
%% ft(:,1) contains position data of the marker with id 1 in axis X
%% ft(:,2) contains position data of the marker with id 1 in axis Y
%% ft(:,3) contains position data of the marker with id 1 in axis Z
%% ft(:,4) contains position data of the marker with id 2 in axis X
%% .....
%% each row of ft table contains the position data of all markers at a specific moment
%% of the trial
%% for example ft(1,1) contains the position data of the marker with id 1 in axis X
%% at the first moment of the trial
%% if the user wants to insert data in the table 'property' then he must use conn & XYZPOS
%% global conn XYZPOS
%% XYZPOS.file= file name
%% colms=('key_trial','property','file_propertydata');
%% curs='SELECT id FROM `Workspace`.`trials` WHERE fname= ' '' XYZPOS.file ''';
%% idf= fetch (conn,curs );
%% idf(1,1)= id of first table trials which contains the file name XYZPOS
%% the data that will be inserted in the database must be like that:
%% datab=[idf(1,1) data1 data2]
%% data1, data2 user's calculated data
%% str=sprintf('`Workspace`.`Property`%s`,`XYZPOS.file`);
%% insert(conn,str,colms,datab);
```

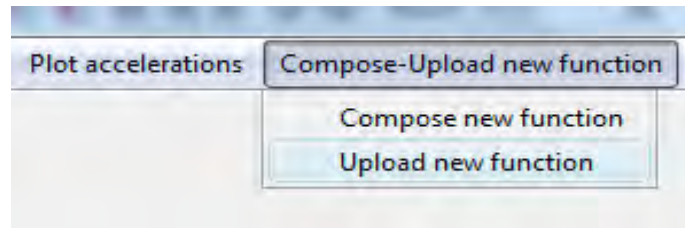


6.14-2 Αυτόματο άνοιγμα του προτύπου με τις οδηγίες που πρέπει να επεξεργαστεί

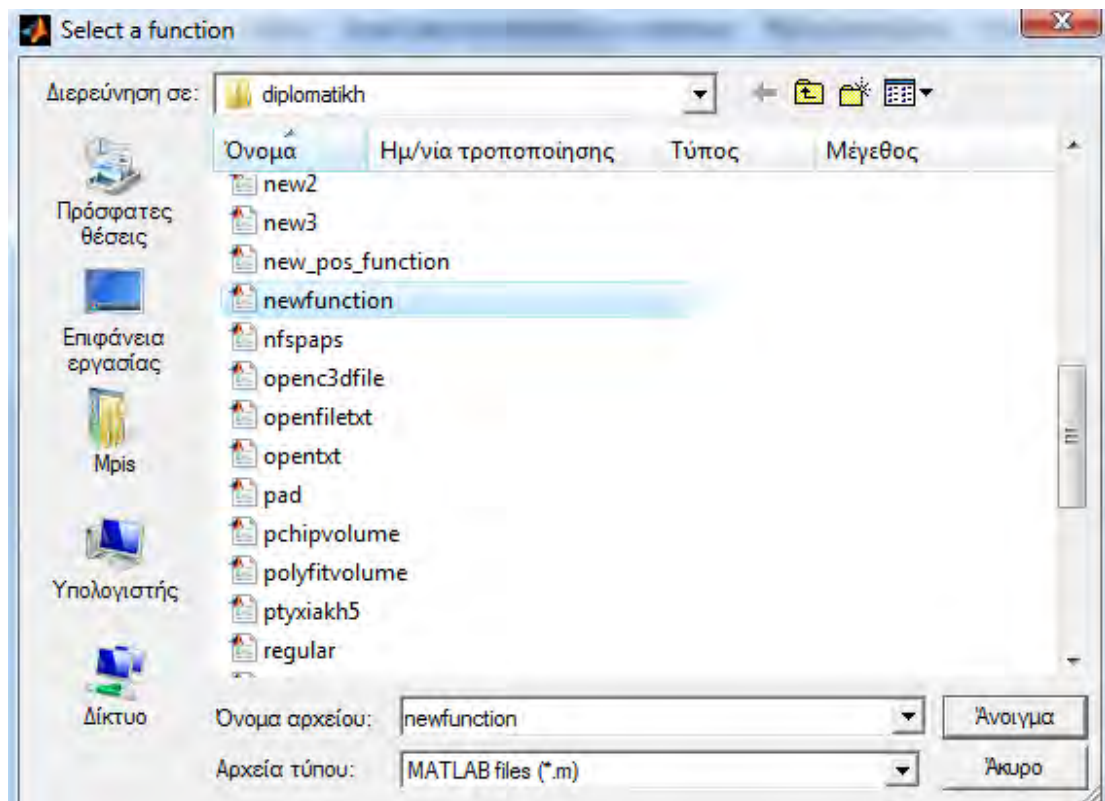
Αν ο χρήστης συνθέσει μια νέα δικιά του συνάρτηση τότε μπορεί μέσω αυτής να υπολογίσει την επιτάχυνση, να δημιουργήσει την γραφική παράσταση της υπολογιζόμενης επιτάχυνσης σε συνάρτηση με τον χρόνο, να αποθηκεύσει τα δεδομένα σε ένα πίνακα της βάσης δεδομένων Workspace και ακόμα να χρησιμοποιήσει τα ήδη αποθηκευμένα δεδομένα που έχουν υπολογιστεί από την νέα συνάρτηση και να δημιουργήσει γραφικές παραστάσεις από τα δεδομένα αυτά. Επίσης ο χρήστης μπορεί να κάνει ότι υπολογισμούς επιθυμεί, όπως για παράδειγμα να υπολογίσει την ενέργεια και να εισάγει αυτά τα αποτελέσματα σε ένα table με όνομα property_(το όνομα του αρχείου) της βάσης δεδομένων Workspace. Πρέπει να αναφέρουμε ότι ο ίδιος ο χρήστης είναι υπεύθυνος για την παραγωγή και εισαγωγή των αποτελεσμάτων στον πίνακα. Οι παρακάτω εικόνες περιγράφουν την διαδικασία.

	Experiment	key_trial	property	file_propertydata
*	NULL	NULL	NULL	NULL

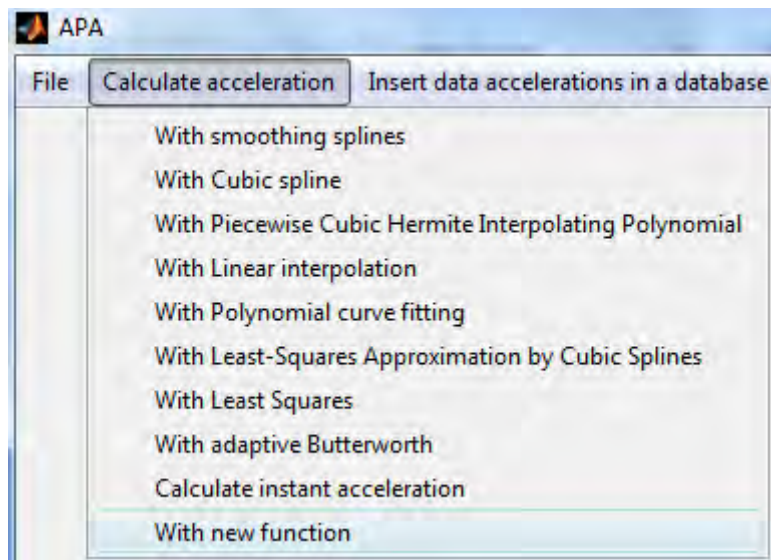
6.14-3 Ο κενός πίνακας property που έχει την δυνατότητα ο χρήστης να εισάγει τους επιπλέον υπολογισμούς του



6.14-4 Χρήση μιας νέας συνάρτησης κατασκευασμένη από τον χρήστη



6.14-5 Επιλογή της συνάρτησης με όνομα newfunction



6.14-6 Υπολογισμός της επιτάχυνσης από την συνάρτηση που συνέθεσε ο χρήστης

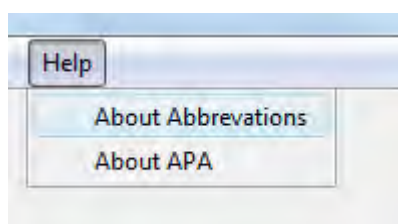
	time	X1	Y1	Z1	X2	Y2	Z2
1	0	-0.0026	0	-3.1471e-04	0	-0.0051	0
2	0.0083	1.2617	-0.1854	7.2215	-5.0571	1.8230	-1.4765
3	0.0167	-4.0272	3.8109	6.9439	-0.9598	1.5656	-2.7409
4	0.0250	3.2779	-1.7098	-3.9061	-1.2829	2.7603	-1.9871
5	0.0333	3.9165	-0.0721	-0.6444	0.9025	2.0702	0.8274
6	0.0417	-4.8460	4.2538	10.4877	0.9740	1.9981	-0.0028
7	0.0500	-2.2299	1.2772	5.3320	1.0338	2.8530	0.1748
8	0.0583	4.6555	-3.1517	-5.8302	-0.6167	1.4419	1.7340
9	0.0667	-2.5698	4.2435	5.9596	0.0895	1.1124	0.1067
10	0.0750	-3.1208	1.6171	2.8137	1.2482	1.1536	-0.4590
11	0.0833	2.5492	-5.7987	-9.5079	0.0978	0.8755	2.1192
12	0.0917	-1.7870	1.3493	4.3413	-0.1114	0.9373	1.5498
13	0.1000	-2.0059	0.9682	6.6188	0.9398	-0.0103	-0.5523
14	0.1083	-0.6360	-2.3998	-0.6978	0.8935	-0.2884	1.0467
15	0.1167	-0.8755	-2.8736	-0.1828	-0.1539	-0.8446	1.2875
16	0.1250	-0.3321	-1.5965	2.7836	1.4375	-1.0197	1.4737
17	0.1333	-0.8163	-0.9064	1.6239	-2.2325	-1.4316	-5.5565
18	0.1417	-0.3630	-3.7800	-2.9166	-2.3399	-0.6592	-4.2051
19	0.1500	0.0386	-2.3483	-0.3272	5.4910	0.5665	10.0231

6.14-7 Μέρος του πίνακα με τις τιμές της επιτάχυνσης υπολογιζόμενες από την συνάρτηση που συνέθεσε ο χρήστης

Ο χρήστης έχει φυσικά και την δυνατότητα να συνθέσει μια δική του συνάρτηση που θα υπολογίζει τις τιμές θέσεως με όλες τις επιλογές που είχε και με την κατασκευή συνάρτησης που θα υπολογίζει την επιτάχυνση. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι παρόμοια με αυτή της σύνθεσης και χρήσης συνάρτησης που υπολογίζει την επιτάχυνση.

6.15 Επιλογή Βοήθειας

Ο χρήστης μέσω του menu HELP μπορεί να βρει χρήσιμες πληροφορίες, όπως επεξήγηση των ονομάτων των markers και πληροφορίες σχετικά με το λογισμικό. Για την επεξήγηση των ονομάτων των markers έχει δημιουργηθεί ένα αρχείο σε .pdf μορφή με όνομα Abbreviations το οποίο ανοίγει με την επιλογή HELP-> About Abbreviations [14]. Στις παρακάτω εικόνες περιγράφεται η διαδικασία.



6.15-1 Επιλογή βοήθειας για τα Abbreviations των markers

Here you can see a short explanation of marker's names

LSHO left shoulder

RSHO right shoulder

SACR sacrum

LASI Left ASIS

RASI Right ASIS

6.15-2 Μέρος του αρχείου Abbreviations.pdf όπου γίνεται μια σύντομη επεξήγηση των ονομάτων των markers.

Κεφάλαιο 7 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

7.1 Γενική Ανακεφαλαίωση

Δημιουργήσαμε ένα λογισμικό (APA) στο MATLAB μέσω του οποίου ο χρήστης μπορεί να ανοίξει C3D αρχεία, να μελετήσει τα αρχικά δεδομένα των C3D αρχείων, να υπολογίσει την επιτάχυνση του πειράματος σε κάθε χρονική στιγμή, να μελετήσει τις γραφικές παραστάσεις όλων των markers στους άξονες X, Y, Z, να αποθηκεύσει τις υπολογιζόμενες τιμές της επιτάχυνσης αλλά και τα αρχικά δεδομένα της θέσεως σε μια βάση δεδομένων αλλά και να επεξεργαστεί τα δεδομένα της βάσεως κατασκευάζοντας γραφικές παραστάσεις. Ακόμα δίνει την δυνατότητα στον χρήστη να συνθέσει και να χρησιμοποιήσει μια δική του συνάρτηση που να υπολογίζει την επιτάχυνση.

Το λογισμικό APA επίσης ανοίγει αρχεία txt τα οποία περιέχουν δεδομένα επιτάχυνσης. Ο χρήστης μπορεί να εισάγει στα δεδομένα την τιμή της συχνότητας του πειράματος, να μελετήσει τα αρχικά δεδομένα της επιτάχυνσης, να υπολογίσει τις τιμές της θέσεως εισάγοντας τις αρχικές τιμές της θέσεως σε κάθε marker, να μελετήσει τις γραφικές παραστάσεις της θέσεως σε κάθε marker, να αποθηκεύσει τις υπολογιζόμενες τιμές της θέσεως αλλά και τα αρχικά δεδομένα της επιτάχυνσης σε μια βάση δεδομένων. Επίσης ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει τα αποθηκευμένα δεδομένα στην βάση και να κατασκευάσει γραφικές παραστάσεις από αυτά τα δεδομένα. Επίσης ο χρήστης μπορεί να κατασκευάσει και να χρησιμοποιήσει μια δική του συνάρτηση που να υπολογίζει τις τιμές θέσεως από δεδομένα επιτάχυνσης.

Το λογισμικό APA είναι πολύ εύχρηστο και λειτουργικό και μπορεί να το χρησιμοποιήσει οποιοσδήποτε χρήστης ανεξαρτήτως των γνώσεων του στο MATLAB. Ο χρήστης μπορεί να εξάγει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στους υπολογισμούς του, τα οποία σε ένα μεγάλο βαθμό εξαρτώνται από τον ίδιο καθώς μπορεί να τροποποιήσει τους υπολογισμούς δίνοντας διάφορες τιμές στις παραμέτρους των μεθόδων.

7.2 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Η βασική λειτουργία του λογισμικού APA είναι ο υπολογισμός της επιτάχυνσης και θέσης του ατόμου. Με χρήση και επέκταση της ήδη υπάρχουσας βάσης δεδομένων αλλά και με χρήση ειδικών αλγορίθμων νευρωνικών δικτύων, machine learning κ.α. θα μπορεί να επιτυγχάνεται αναγνώριση-κατηγοριοποίηση-συσταδοποίηση κινήσεων που περιγράφονται από τα δεδομένα επιτάχυνσης [6].

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. www.c3d.org
2. <http://www.motion-labs.com/>
3. The C3D File Format This manual was written by Motion Lab Systems using *ComponentOne Doc-To-Help*.™ Updated Thursday, January 17, 2008
4. Clinical Research Methods in Gait Analysis Gait CCRE, December 2006
5. MotionLab: A Matlab toolbox for extracting and processing experimental motion capture data for neuromuscular simulations
6. Π. Τσομπανοπούλου, Περιγραφή λογισμικού για τον υπολογισμό επιτάχυνσης και θέσης ατόμου MoDA, Βόλος, 2008
7. <http://www.c3dserver.com>
8. Optimal digital filtering requires a different cut-off frequency strategy for the determination of the higher derivatives (Giannis Giakas and Vasileios Valtzopoulos)
9. Αριθμητικές Μέθοδοι για την επίλυση κανονικών διαφορικών εξισώσεων. Εφαρμογές με προγράμματα Fortran. Συγκριτική μελέτη των μεθόδων. (μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία Αγορίτσας Μ Ροΐδου Ιούνιος 2010)
10. Gait Extract Toolbox V1.5 Resource Manual. Musculoskeletal Biomechanics Lab Department of Mechanical Engineering University of Melbourne (compiled and written by Tim Dorn)
11. <http://www.mathworks.com/>
12. <http://www.cfd-online.com/>
13. Verification and Matlab Implementation of the inverse Dynamics Model of the Metu Gait Analysis System- Submitted by Coray Savas Erer.
14. <http://www.bw.ctw.utwente.nl/>
15. www.mysql.com/

Παράρτημα

Για την υλοποίηση του λογισμικού χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MATLAB R2010a [11]. Το άνοιγμα και η επεξεργασία των C3D αρχείων έγινε μέσω του C3DSERVER [1, 7]. Για την απεικόνιση των βάσεων δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό MySQL Workbench 5.2 CE [15]. Οι κλήσεις των εντολών για την δημιουργία πινάκων στην βάση δεδομένων γίνανε αποκλειστικά μέσω του λογισμικού MATLAB R2010a.